



TRABAJO DE GRADO
Grado en Ingeniería Mecánica

COMPROBACION DE DISEÑOS EN MAQUINARIA

INDUSTRIAL



Memoria y presupuesto

Autor: William A Méndez Rivero

Director: Eduard Calduch Pros

Co-Director: Jorge Arturo Ávila Haro

Convocatoria: 05 2018

RESUMEN

Este proyecto consiste en la comprobación de los mecanismos de una máquina de fabricación industrial que está sometida a esfuerzos variados y cuyo diseño no tiene una justificación mecánica. Con este trabajo se pretende demostrar que, mediante los conocimientos adquiridos en el grado, se puede conseguir evaluar y validar el diseño de un producto que, si bien ya se fabrica con unos determinados parámetros, presentara puntos de diseño a tomar en cuenta para la mejora de su funcionamiento y resistencia al uso.

La máquina en cuestión se llama “Aplicador de Parafina” y es fabricada por la empresa INGEBOSL. En el periodo en el cual trabajé para esta empresa pude observar que las piezas de algunos mecanismos sufrían desperfectos por efectos del uso y que se desgastaban más rápido que otros mecanismos.

En este trabajo de grado vamos a considerar dos mecanismos de la máquina que pueden ser objeto de estudio y que, analizando su construcción y simulando su funcionamiento, podremos validar si su diseño es el adecuado para el trabajo que van a realizar.

Estos 2 mecanismos son:

- Depósito de parafina
- Mecanismo excéntrico

Los dos mecanismos, objetivos de estudio han sido elegidos teniendo en cuenta las observaciones de los mecánicos que trabajaban en la construcción del Aplicador de Parafina, donde indicaban los problemas que se presentaban en ocasiones a la hora de construir la máquina o en la puesta en marcha de la misma.

Se llevará a cabo un análisis estático de cada mecanismo con el programa ANSYS WORKBENCH, el modelado de los mecanismos y piezas tanto como la elaboración de los planos se hará con el programa SOLIDWORKS, los conocimientos de estos softwares se han obtenido en el transcurso de la carrera.

Cotejaremos los resultados obtenidos por la simulación numérica, con los de aproximaciones analíticas basándonos en los fundamentos teóricos adquiridos a lo largo de la carrera.

Utilizaremos la aproximación analítica para dar sustento a los resultados numéricos, y con estos poder hacer un informe de validación del diseño de las piezas involucradas en el estudio.

Este trabajo pretende abarcar posibles problemas reales en la fabricación de máquinas industriales, problemas que en ocasiones las empresas no tienen los recursos necesarios para determinar cómo solucionarlos limitándose a la fabricación e instalación sobre-llevando sus problemas habituales.

AGRADECIMIENTOS

Es muy emotivo para mi llegar a este punto donde te sientas ver el camino recorrido, camino que no recorrí solo, sino con las personas más importantes de mi vida a mi lado.

Para empezar, dedicarle un agradecimiento y admiración a mi esposa y compañera de la vida Patricia Pereda, su amor y comprensión me han llevado de la mano toda la vida que he vivido desde que la conocí, siendo pieza indispensable en mi crecimiento como persona.

Agradecer a mis tres niños Marina, Víctor, Lucía Méndez Pereda, ellos fueron el motor y mi fuerza para seguir luchando por superar cada cuatrimestre al que me enfrentaba. Esta etapa que se cierra para abrirme otra etapa muy añorada, en la que poder pasar más tiempo con ellos, y disfrutar de su compañía.

Agradecer a mis padres, Miguel Méndez e Isabel Rivero que me brindaron todo su apoyo y su comprensión, haciéndome sentir lo orgullosos que estaban por cada victoria en las asignaturas.

A mis amistades tanto fuera como dentro de la universidad, los de fuera fueron mi descanso y recuperación, los de dentro que fueron mi refuerzo y soporte en cada asignatura.

Agradecer a los profesores responsables de dirigir este trabajo de fin de grado. El profesor Eduard calduch Pros y el profesor Jorge Arturo Ávila Haro. que con su tiempo y dedicación me han sabido aconsejar y guiar por el camino correcto en esta etapa final de la carrera.

Un agradecimiento especial para el profesor Esteve Ribas Moreu, Su aporte fue fundamental para la consecución de este trabajo, y sin ser mi tutor o cotutor, siempre se dispuso a colaborar con la aportación de sus conocimientos, sobre todo en la fase de simulación. Quedare siempre muy agradecido con usted.

Hay un agradecimiento que nunca hubiese querido hacerlo en esta memoria, sino personalmente, pero la vida no me ha dejado hacerlo, un amigo muy querido falleció pocos días antes de presentar esta memoria, él fue uno de los responsables de que yo empezara a estudiar esta carrera, por lo tanto, este trabajo de fin de grado también es mérito de él, Estés donde estés, esto también va para ti mi querido amigo David Lancheros Becerra.

INDICE

1	INTRODUCCION.....	6
1.1	INTRODUCCION A LA MÁQUINA DE PARAFINAR	7
1.1.1	APLICADOR DE PARAFINA.....	7
1.1.2	ESPECIFICACIONES GENERALES Y DIMENSIONES.....	8
1.2	INTRODUCCION DEL SECTOR INDUSTRIAL.....	9
2	DEFINICIÓN DE OBJETIVOS DEL TFG	10
2.1	ALCANCE DEL TFG.....	10
2.2	POSIBLES APLICACIONES DE ESTUDIO	11
3	DESARROLLO DEL PROYECTO	12
3.1	DEPÓSITO DE PARAFINA.....	12
3.1.1	DESCRIPCION BASICA DE FUNCIONAMIENTO.....	12
3.1.2	DESCRIPCION DEL PROBLEMA	13
3.1.3	MODELADO	15
3.1.4	CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES EMPLEADOS.....	18
3.1.4.1	CHAPA DE ACERO AL CARBONO F-1110	18
3.1.4.2	ACERO AL CROMO NIQUEL F-3504	21
3.1.4.3	ACERO ESTIRADO EN FRIO F-1140	23
3.1.5	SIMULACION DEPÓSITO PARAFINA	26
3.1.5.1	SOFTWARE UTILISADO.....	26
3.1.5.2	MODELO IMPORTADO	26
3.1.5.3	MALLADO DEPOSITO DE PARAFINA	27
3.1.5.4	CARGAS Y CONDICIONES DE CONTORNO	28
3.1.5.5	PRESIÓN EJERCIDA POR LA PARAFINA ESTANCADA.....	29
3.1.6	RESULTADOS OBTENIDOS.....	32
3.1.6.1	DEFORMACION UNITARIA ELASTICA DE VON MISSES.....	32
3.1.6.2	TENSIÓN DE VON MISSES	35
3.1.6.3	DEFORMACIÓN TOTAL.....	37
3.1.6.4	FACTOR DE SEGURIDAD.....	39
3.1.7	VALIDACIÓN.....	40
3.1.7.1	PIEZAS CRÍTICAS.....	40
3.1.7.2	DEFORMACION DEL MODELO.....	40
3.1.7.3	FACTOR DE SEGURIDAD.....	41
3.1.7.4	OBSERVACIONES.....	41

3.2	BARRA DE MECANISMO EXCENTRICO	42
3.2.1	DESCRIPCION BASICA DE FUNCIONAMIENTO.....	42
3.2.2	DESCRIPCION DEL PROBLEMA	43
3.2.3	MODELADO	45
3.2.3.1	MODELO APLICADOR APC 2550.....	45
3.2.3.2	MODELO SIMPLIFICADO MECANISMO EXCENTRICO	47
3.2.4	MATERIALES EMPLEADOS.....	49
3.2.4.1	CHAPA DE ACERO AL CARBONO F-1110	49
3.2.4.2	ACERO ESTIRADO EN FRÍO F-1140	51
3.2.4.3	BRONCE AL MANGANESO.....	53
3.2.4.4	ACERO AL CARBONO ST-52.3	55
3.2.5	SIMULACIÓN	57
3.2.5.1	MODELO IMPORTADO	57
3.2.5.2	MALLADO DE MODELO MECANISMO EXCENTRICO	58
3.2.5.3	CONDICIONES DE CONTORNO APLICADOS	59
3.2.5.4	CALCULOS ANALÍTICOS PREVIOS	66
3.2.5.5	CALCULO ANALITICO PARA LA DEFORMACION TOTAL	71
3.2.6	RESULTADOS OBTENIDOS.....	73
3.2.6.1	TENSION EQUIVALENTE DE VON MISSES	73
3.2.6.2	APROXIMACIÓN POR MODELO IDEALIZADO	77
3.2.6.3	DEFORMACION TOTAL.....	81
3.2.6.4	FACTOR DE SEGURIDAD	83
3.2.7	VALIDACIÓN.....	84
3.2.7.1	TENSIONES MÁXIMAS.....	84
3.2.7.2	RODAMIENTO DE AGUJAS NK 50/25 TV	85
3.2.7.3	DEFORMACIÓN TOTAL.....	87
3.2.7.4	FACTOR DE SEGURIDAD	88
4	CONCLUSIONES GENERALES.....	89
5	PRESUPUESTO	90
6	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA Y WEBGRAFÍA.....	91

1 INTRODUCCION

Comprendemos que una oficina técnica, es un lugar de donde se inician todas las operaciones que conllevan a la realización de cualquier proyecto, desde la fase de Propuesta, pasando por la planificación, ejecución y finalización. En ese entorno también se ubica el área de desarrollo, que se ocupa de la continua elaboración de mejoras y actualizaciones de, o los productos que la empresa produce.

No todas las empresas disponen de esta área de desarrollo, incluso hay empresas que no disponen de control de calidad, si bien es verdad el sector de la maquinaria industrial en general, es cada vez más exigente con el cumplimiento de las normas de calidad y seguridad en máquinas industriales, existen maquinas fabricadas con menos exigencias de normativa, dirigidas a clientes menos exigentes y a sectores industriales menos exigentes también.

El ejemplo que presentamos en este trabajo de fin de grado, es un caso de ellos, donde existe un fabricante poco exigente con un cliente poco exigente, determinado también por el nivel económico de los dos, cosa que hace más llevadero este tipo de acuerdos.

En mi paso por la empresa INGEBOS, pude experimentar la visión de una empresa con este tipo de problemática. Esta empresa se esforzaba por mantener un mínimo de calidad en las máquinas que fabricaba, pero asfixiada por la dura competencia del mercado, se veía a obligada a enfocarse a producir y poner en marcha todo lo que fabrica, sin darle oportunidad a estudiar los fallos de los productos, y mucho menos el desarrollo de ellos, limitándose a ***“si funciona ya vale”***

El cliente también influye. Pude observar que el tipo de cliente aporta mucho a la problemática, ya que, así como hay clientes que exigen la máxima calidad y la pagan, también existen clientes que prefieren reducir sus expectativas de calidad por ahorrarse un dinero.

Puesto que la empresa se dedica a prestar servicios de mantenimiento y reconstrucción de máquinas antiguas del sector de cartón ondulado, solo pude trabajar en la adaptación de piezas de maquinaria antigua, teniendo poco acercamiento a la máquina de aplicación de parafina, en la que solo había un mecánico que la construía y la ponía en marcha.

Sin embargo, era tema de conversación, los problemas de funcionamiento de la máquina, esto me generó la inquietud y el entusiasmo averiguar si el diseño de los componentes de la maquina tenían responsabilidad en estos fallos.

Lamentablemente por la temática de la empresa que hemos mencionado anteriormente, hasta mi salida de la empresa no hubo la oportunidad de llevar a cabo un análisis de las piezas que posiblemente generaban problemas de funcionamiento.

Cabe señalar también que la empresa no disponía de un ingeniero industrial o un ingeniero jefe que pudiera dar soluciones o respuesta a las cuestiones que se generaban por los problemas de la máquina, esto aumentó más mi inquietud por saber cómo abordar ingenierilmente un problema como este, que al final de cuentas es el principal motivo por el que inicie mis estudios de Ingeniería. *“El saber porque suceden las cosas”*.

1.1 INTRODUCCION A LA MÁQUINA DE PARAFINAR

1.1.1 APLICADOR DE PARAFINA

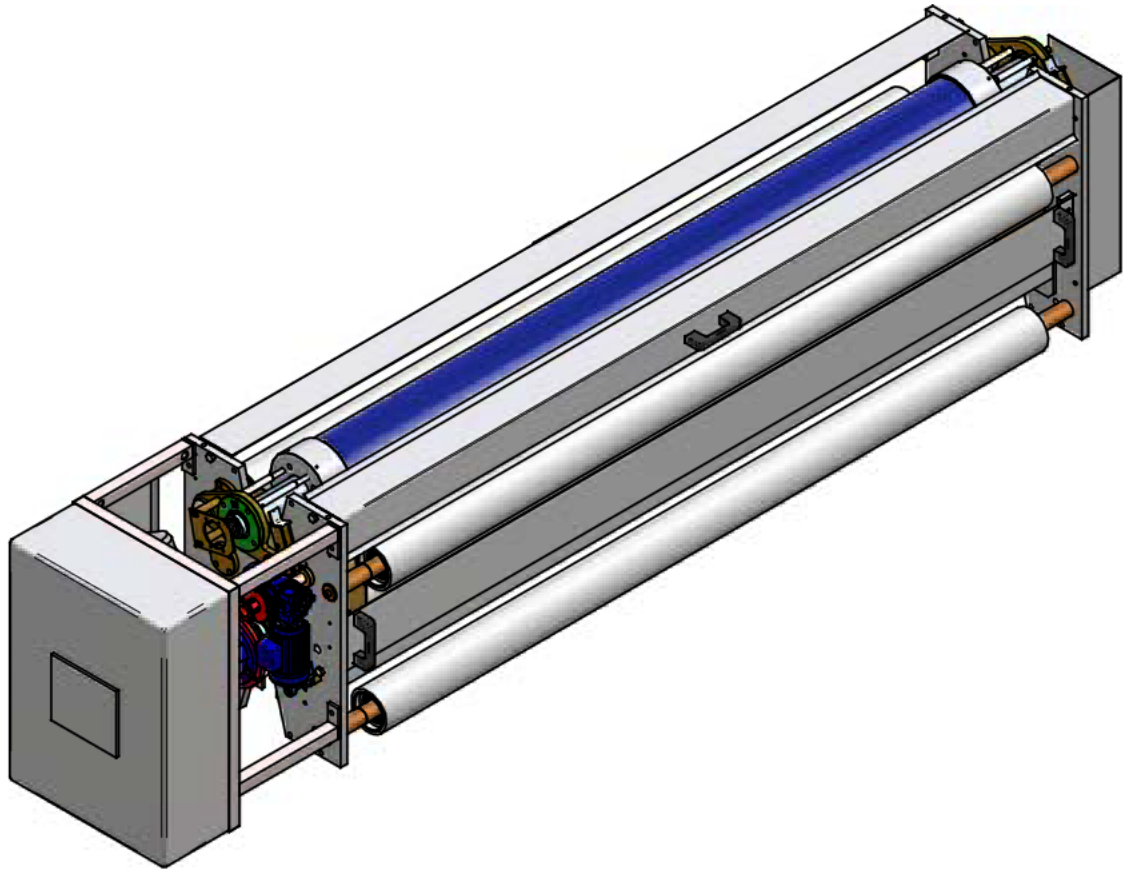


FIGURA 1.1.1. Aplicador de parafina caliente HV-285 (fuente: manual de usuario Carteam)

El objetivo de la máquina es la aplicación de productos antihumedad en el papel antes de que el mismo se pase a la corrugadora.

Esta máquina se compone de tres rodillos: arenado, de goma y prensa. El producto es transportado por el rodillo arenado hasta el rodillo de goma y este lo aplica en el papel ayudado por la presión del rodillo prensa (ver Figura 1.1.2.)

Además de estos tres rodillos, incorpora 2 rodillos más de guía para el paso del papel y una bandeja para la recogida del producto sobrante con una salida al exterior de la máquina para su retorno por gravedad.

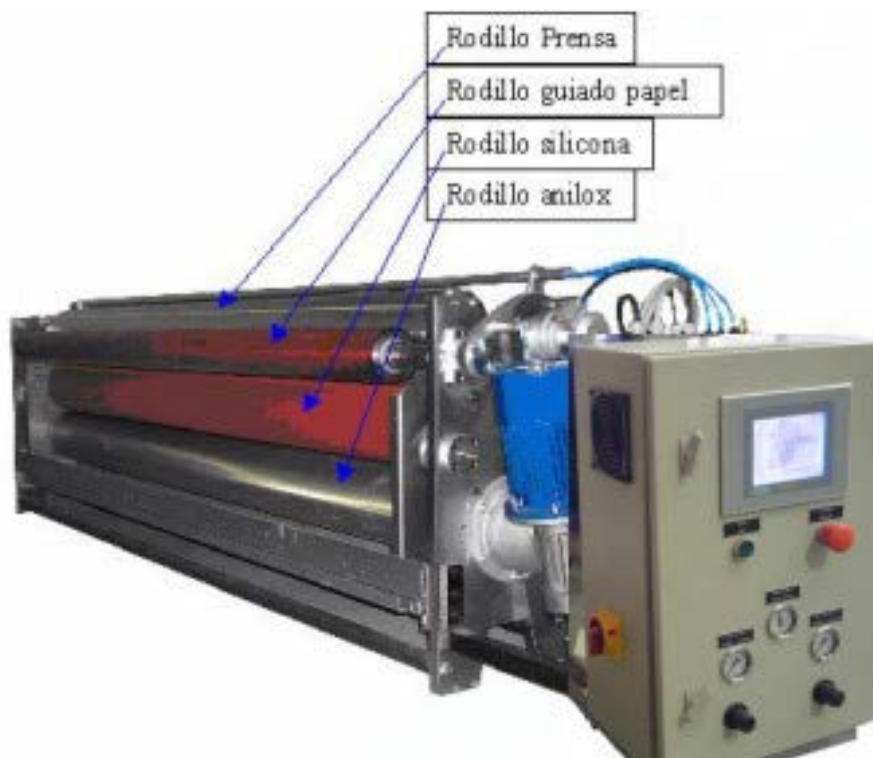


FIGURA 1.1.2. Posición de rodillos en la máquina de parafinar (fuente:manual de usuario Carteam)

El aplicador de ceras y parafina HV-285/HVF-285 es una máquina de construcción robusta prevista para trabajos pesados.

1.1.2 ESPECIFICACIONES GENERALES Y DIMENSIONES

- Ancho útil de trabajo 2850 mm estándar
- Ancho de bancada 600 mm
- Alto de máquina 825 mm
- Largo de máquina 4000 mm
- Peso de máquina 2100 Kg

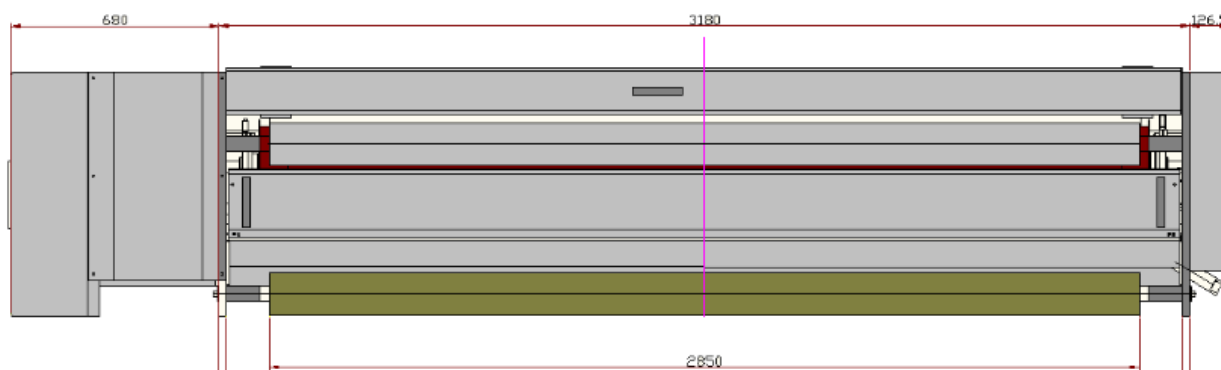


FIGURA 1.1.2. Plano mecánico frontal y dimensiones (fuente: manual de usuario Carteam)

1.2 INTRODUCCION DEL SECTOR INDUSTRIAL

La industria del cartón tiene una amplia variedad de servicios y los productos derivados de esta se emplean en diversos sectores industriales para la protección y el transporte de productos de casi todo lo que se puede vender a pequeña y gran escala.

La industria alimentaria es una gran consumidora de productos de esta industria que a su vez demanda de la aplicación de ceras y parafinas antihumedad para conservar en condiciones óptimas los productos alimentarios.

La máquina objeto de estudio, está pensada para el sector del cartón ondulado, industria que consta de líneas de fabricación con una gran cantidad de maquinaria, en la cual se introduce el aplicador de parafina en el proceso previo a la corrugación, donde está en estado de papel reciclado en bruto.

Se le aplica la parafina por una de las caras exteriores antes de entrar en contacto con los pegamentos que se añaden para entrar a la corrugadora, donde se le da forma al cartón ondulado.



FIGURA 1.2. Productos derivados del sector industrial del cartón ondulado

2 DEFINICIÓN DE OBJETIVOS DEL TFG

2.1 ALCANCE DEL TFG

En este trabajo de fin de grado vamos a cubrir los aspectos principales de validación o comprobación del diseño mecánico, teniendo en cuenta que nos enfrentamos a la problemática de no tener los suficientes datos técnicos para hacer las valoraciones, tanto por la parte del diseño, como por parte del funcionamiento.

Se dispone de planos en PDF y de fotografías de la máquina y de las observaciones que se pudo tener en la etapa de empleado de la empresa.

Después de las respectivas reuniones con el director del TFG, se llegó a la conclusión de acotar este estudio a lo que estrictamente sería, validación de resistencia y deformación de las piezas que conforman los mecanismos elegidos.

Uno de los grandes desafíos a los que nos enfrentamos, fue investigar los verdaderos parámetros del diseño y la disposición de las piezas en los mecanismos, así como la búsqueda de los materiales reales de fabricación, muchos de ellos sin tener una normativa de calidad vigentes al día de hoy según nuestra investigación.

Una de las tareas para más complejas fue determinar los elementos que conformaban los mecanismos y su ensamblaje, esto fue clave para conseguir el modelo más aproximado, el cual nos permitiría acercarnos lo máximo posible a la realidad en la simulación.

En la fase de investigación, se pudo determinar las condiciones de contorno o los fenómenos físicos a los que los mecanismos estudiados estarían expuestos.

Se ha optado por utilizar el módulo de análisis estructural del simulador, con la finalidad de poner a prueba el comportamiento de las piezas en un entorno básico pero real, entendiendo que es fundamental que las piezas superen este tipo de ensayos antes de someterlos a pruebas más exigentes donde se estudian otros fenómenos que necesitan de estudios más complejos y que en este TFG por el factor tiempo no se van a abarcar.

2.2 POSIBLES APLICACIONES DE ESTUDIO

La definición de objetivos, fue una fase muy importante, en donde pudimos evaluar la posibilidad de varios tipos de análisis que se podrían realizar con los diferentes módulos de simulación que ANSYS WORKBENCH nos ofrece.

Se hizo un planteamiento de estas posibilidades, concluyendo en lo que en el apartado de alcance del proyecto se explica.

No obstante, se puede resaltar que, el trabajo de modelado e investigación sobre las piezas de los mecanismos, nos permitirían abarcar más tipos de análisis. Análisis como:

- DINAMICA DE FLUIDOS

Este módulo nos permitiría comprobar el comportamiento de la parafina al pasar del depósito a la máquina de aplicación, ya que este fluido recorre un circuito cerrado con unas condiciones que se podrían estudiar para determinar si el diseño y componentes de este circuito cerrado cumplen con los requerimientos de la máquina.

- TRANSFERENCIA DE CALOR

Este módulo nos da la posibilidad de realizar análisis térmicos estacionarios lineales y no lineales, o transitorios lineales y no lineales.

En nuestro caso se podría utilizar un análisis estacionario no lineal, el que usaríamos para comprobar el aislamiento térmico de la parafina entre el depósito y la carcasa exterior, ya que cuando esta entra en su punto de máxima temperatura de trabajo, existe el peligro de accidente por quemadura de algún operario que este manipulando la máquina, actualmente el aislamiento que emplea el depósito es un recámara rellena con lana de roca, que es un aislante industrial de uso común para este fin.

- DINAMICA DE MECANISMOS

Este módulo es capaz de simular cuerpos rígidos y flexibles, o la combinación de ambos, en la simulación de cuerpos rígidos se puede obtener parámetros como desplazamientos, velocidades, aceleración, Fuerzas en los contactos y cargas de reacción.

En los elementos flexible se puede aplicar al modelo pares de contacto para hacer transferencia de carga y detectar posibles colisiones durante el movimiento del sistema. En nuestro caso, se podría utilizar para comprobar las posibles deformaciones de los rodillos en su área efectiva de trabajo, ya que son elementos de gran longitud sometidos a esfuerzos de torsión y momentos de inercia generados por las velocidades de trabajo, que darían pie a un interesante análisis para validar el diseño de estos rodillos.

Como se puede ver, gran parte de las tareas que realizaremos en este trabajo de fin de grado, nos abre unas posibilidades de análisis que, si son requeridas estarían disponibles para realizar. La metodología de trabajo que aplicaremos nos dará una idea de cómo afrontar problemas parecidos en una oficina técnica que requiera de desarrollo en un producto fabricado a fabricar.

3 DESARROLLO DEL PROYECTO

3.1 DEPÓSITO DE PARAFINA

3.1.1 DESCRIPCION BASICA DE FUNCIONAMIENTO

El depósito de parafina es un componente del aplicador de parafina, en el cual se encarga de proveer de este producto al aplicador, su funcionamiento es el siguiente:

- La parafina es almacenada dentro del depósito en bloques sólidos, hasta conseguir un volumen aproximado de 0.40 m^3 o lo que es igual a 400 litros.
- La parafina se calienta mediante la circulación de vapor saturado a 150°C este vapor circula dentro del depósito mediante un serpentín que actúa como intercambiador de calor.
- El depósito dispone de una sonda térmica PT-100 en el interior que se encarga de proporcionar información para la activación de los motores de agitación e impulsión, los cuales se activan en el rango de $90\text{-}100^\circ \text{C}$ y $100\text{-}120^\circ \text{C}$, respectivamente.
- El agitador se pone en marcha para ayudar en la subida de temperatura de la parafina y conseguir un estado de fluidez óptimo para ser impulsado hasta el aplicador.
- La bomba impulsora se activa cuando la parafina ha llegado a la temperatura de 140°C . Esta bomba también tiene un sistema de calefacción por vapor que se encarga de mantener los caudales constantes en la impulsión.
- El depósito posee instrumentos de control de flujo y de condensación en la circulación del vapor.
- Se entrega la parafina líquida y con temperatura de trabajo de 140°C grados Celsius al aplicador.
- Una vez finalizada la producción la bomba impulsora se pone en modo inverso para retornar la parafina restante al depósito, de esta manera se vacía de parafina toda la instalación evitando que esta se solidifique.

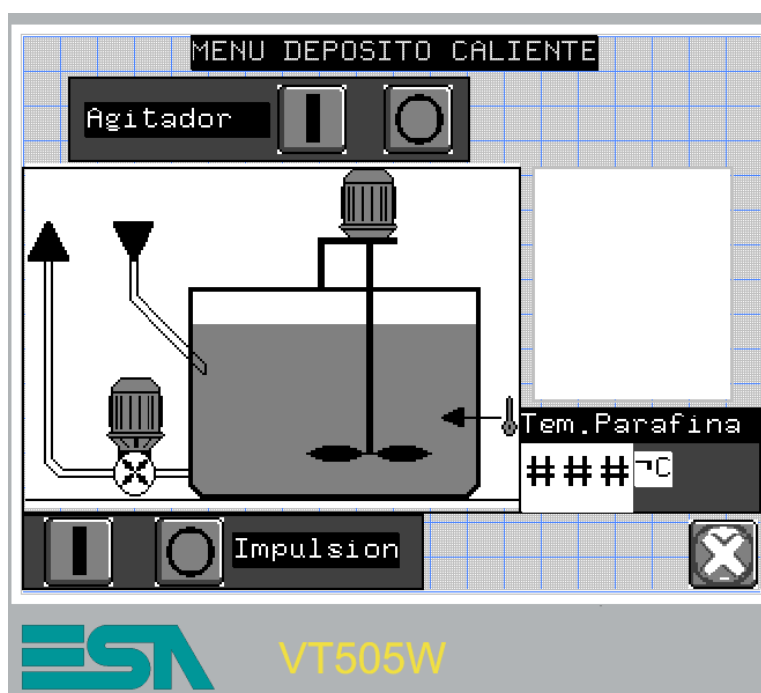


FIGURA 3.1.1. Menú de control depósito de parafina

3.1.2 DESCRIPCION DEL PROBLEMA

El depósito presenta deformaciones en su estructura a partir del primer año de trabajo aproximadamente, donde las piezas que ejercen de soporte bancada están sometidos a cargas y presiones de producidas por la contención de este fluido, y la fuerza de gravedad del volumen contenido.



FIGURA 3.1.2.1. Abolladuras internas de un depósito en reparación

Se añade también el factor de la temperatura elevada a la que el depósito está expuesto constantemente.

La empresa fabrica el depósito mediante un calderero que ensambla, para después soldar las piezas siguiendo unos planos de fabricación que carecen de un informe técnico de resistencia al desgaste y un análisis estático estructural donde poder determinar los factores que provocan estas deformaciones con el paso del tiempo, por lo tanto, se sigue fabricando sin saber cómo solucionar de una manera certera y económica los problemas de deformación.

Esta deformación afecta de manera directa a los componentes del depósito ya que la mayoría son componentes rígidos y unidos por bridas atornilladas, provocando pérdidas de flujo en las uniones de este, con lo cual se han de realizar continuas reparaciones en las uniones soldadas que el depósito tiene.



FIGURA 3.1.2.2 Depósito en construcción

El producto de la parafina es también afectado de forma indirecta ya que las chapas interiores se empiezan a degradar corroyéndose por presión y temperatura, aunando al hecho de que al comenzar a deformarse provocan contaminación en las zonas de unión entre piezas, contaminación que se transmiten al producto llevando impurezas que luego terminan en el papel aplicado.

3.1.3 MODELADO

El trabajo de modelado ha sido desarrollado en el programa Solidworks, herramienta impartida en diversas asignaturas de la carrera y para la cual se fue adquiriendo experiencia durante los trabajos realizados en la empresa dueña de la máquina en cuestión, como se explicó en un principio. La máquina se fabricaba siguiendo planos en 2D, planos que solo estaba disponible en PDF y que, por limitaciones de la empresa, no existían modelos en 3D para desarrollar ningún análisis de funcionamiento.

En el proceso de delineación se ha procurado tener en cuenta muchos de los detalles reales de la máquina de donde se han extraído los modelos para la simulación.

Para la realización de estos modelos se ha seguido los siguientes pasos:

- Interpretación de planos en 2D.
- Realización de croquis de cada una de las piezas.
- Creación de los sólidos a partir de los croquis efectuados.
- Organización de piezas por grupos de fabricación y de piezas de compra.
- Descarga de modelos estándar de piezas de comercio.
- Ensamblaje de grupos de piezas por planos y fotos de la máquina.
- Creación de planos de construcción en Solidworks.



Podemos observar en las figuras 3.1.3.1., 3.1.3.2., 3.1.3.3. y 3.1.3.4 , algunas capturas de pantalla del trabajo realizado con este programa, el modelo se realiza siguiendo fielmente los detalles de funcionamiento, con la finalidad de poder usar el modelo para aplicaciones de estudio más complejos.

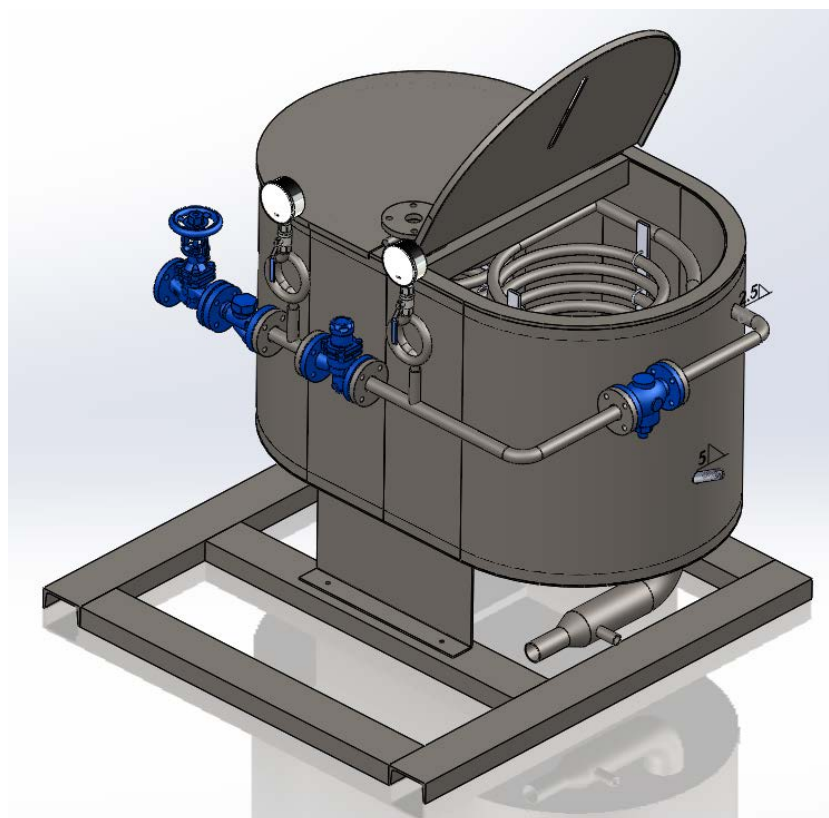


FIGURA 3.1.3.1. Modelado en Solidworks del depósito de parafina

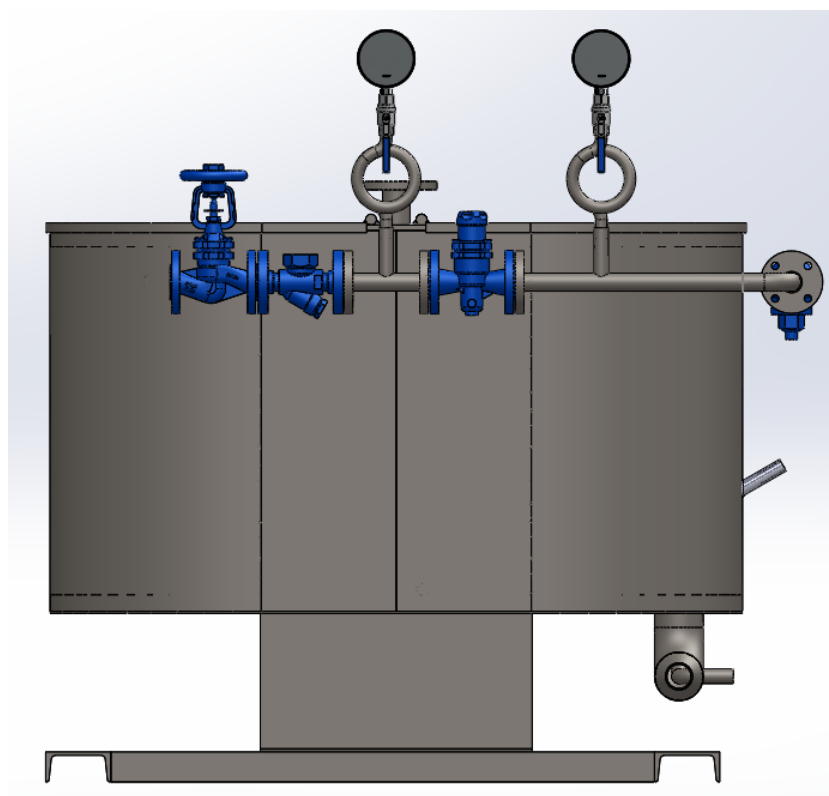


FIGURA 3.1.3.2. Modelado en Solidworks del depósito de parafina (vista lateral)

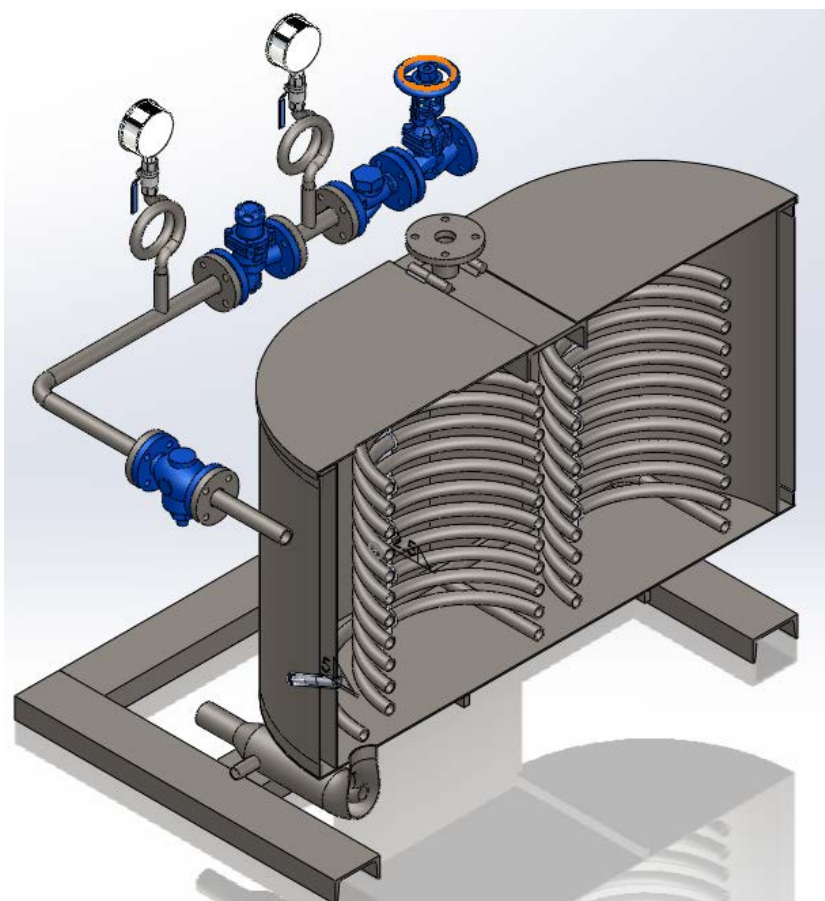


FIGURA 3.1.3.3. Modelado en Solidworks del depósito de parafina (vista de sección)

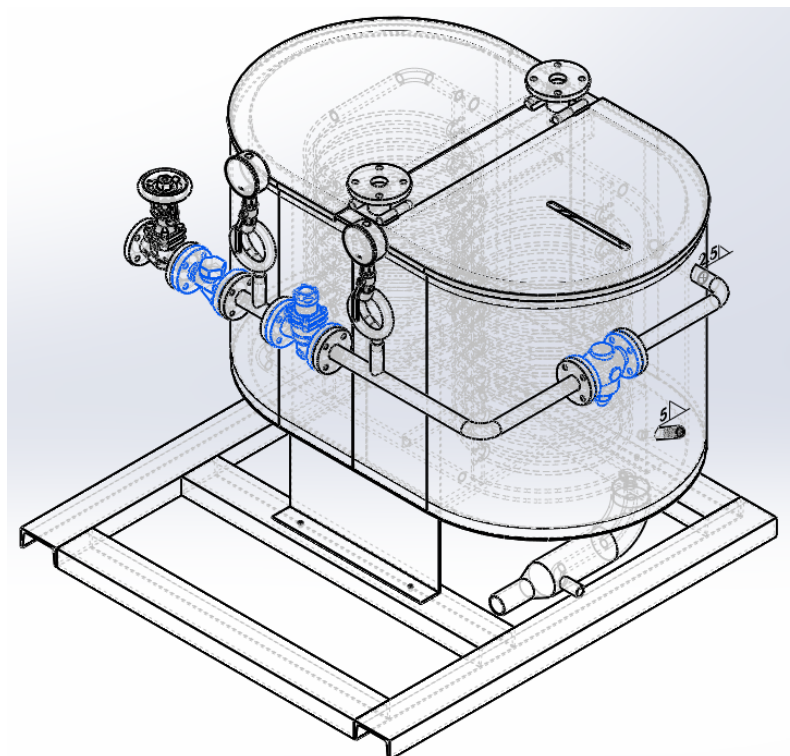


FIGURA 3.1.3.4 Modelado en Solidworks del depósito de parafina (vista líneas ocultas)

3.1.4 CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES EMPLEADOS

En los planos de fabricación se detalla el tipo de material para la construcción del depósito, dado que se va a hacer un análisis estático estructural, se ha modelado un modelo simplificado del depósito donde analizaremos las piezas que tendrán mayor exigencia a la hora de cargar el producto. Estos materiales son:

3.1.4.1 CHAPA DE ACERO AL CARBONO F-1110

Acero para piezas de máquinas con límite elástico entre 25/40 kg/mm² en bruto. Admite muy bien la soldadura debido a su bajo contenido en carbono y embutición o plegado.

Se puede usar como acero de cementación, para elementos de maquinaria poco cargados que deben poseer una buena tenacidad. Piezas de baja resistencia que se hayan de obtener por deformación en frío: clavos, tornillos, herrajes, etc. Es soldable en cualquier espesor.

3.1.4.1.1 COMPOSICIÓN QUÍMICA

TABLA 3.1.4.1.1. Composición química F-1110

	C	MN	Si	P≤	S≤
min	0,1	0,3	0,15	0,035	0,035
max	0,2	0,6	0,4		

3.1.4.1.2 EQUIVALENCIAS APROXIMADAS

TABLA 3.1.4.1.2. Equivalencias aproximadas F-1110

UNE	W-Nr	DIN	AFNOR	AISI	EN-10083
F-1110	1,1141	CK-15	XC-18	1015	NO TIENE

3.1.4.1.3 CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS APROXIMADAS

Existe varia información sobre las propiedades mecánicas, pero para efectos de este estudio se utilizarán solo las que nos sirven para la simulación.

TABLA 3.1.4.1.3 Propiedades mecánicas F-1110

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo Elástico	205000	MPa
Coeficiente de Poisson	0,29	
Límite de tracción	425	Mpa
Límite Elástico	282,68	Mpa
Coeficiente de expansión térmica	1,2x10 ⁻⁵	1/K
densidad de masa	7858	Kg/m ³
Factor de endurecimiento	0,85	

3.1.4.1.4 PIEZAS DEL DEPÓSITO QUE SON FABRICADOS CON ESTE MATERIAL

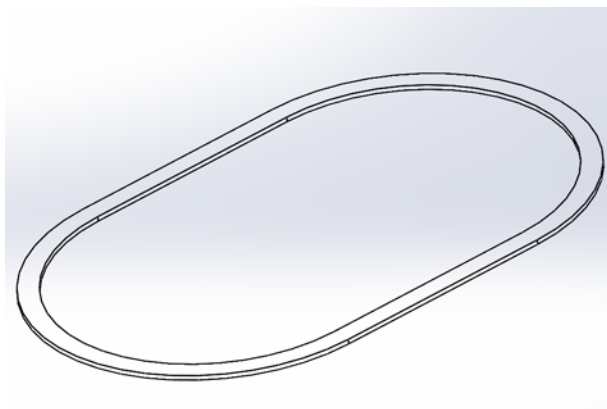


FIGURA 3.1.4.1.4.1. Aro refuerzo tanque

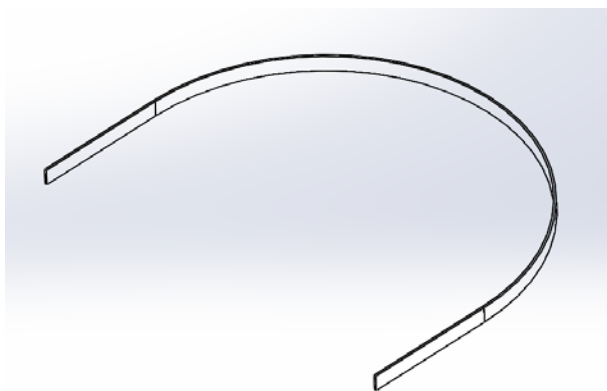


FIGURA 3.1.4.1.4.2. Plancha curvada interior (4 piezas)

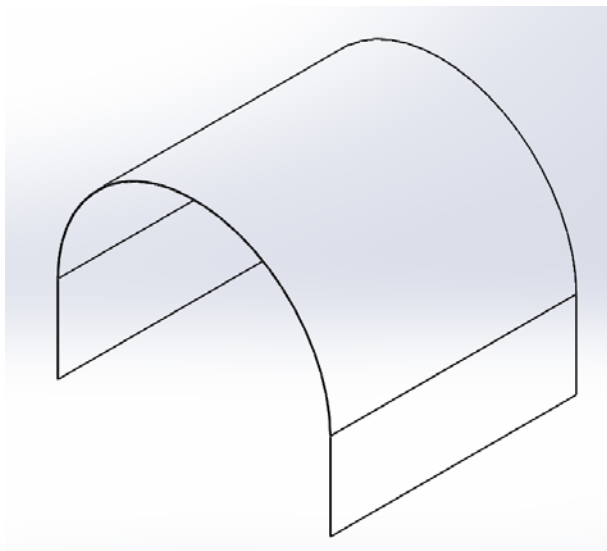


FIGURA 3.1.4.1.4.3. Carcasa exterior (2 piezas)

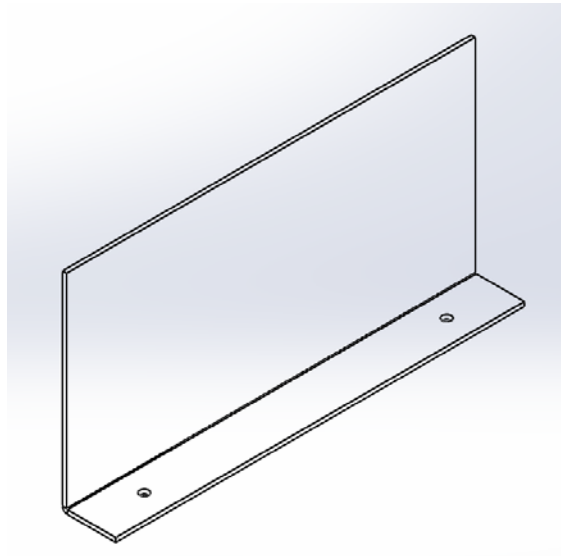


FIGURA 3.1.4.1.4.4. Chapa soporte tanque (2 piezas)

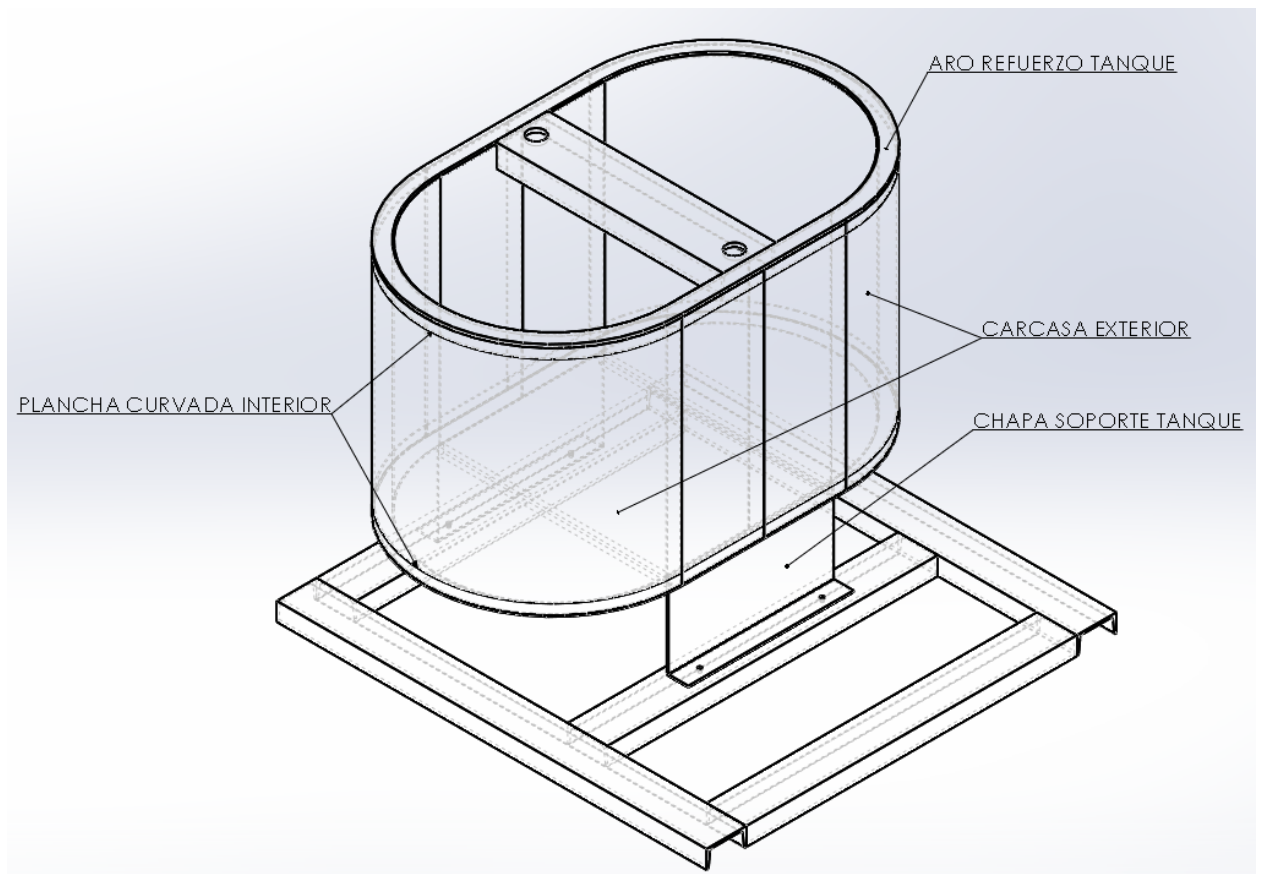


FIGURA 3.1.4.1.4.5. Ubicación de piezas en el ensamblaje

3.1.4.2 ACERO AL CROMO NIQUEL F-3504

Es un acero inoxidable austenítico, aleado con cromo, níquel y bajo contenido en carbono que presenta una buena resistencia a la corrosión. No requiere un tratamiento posterior de soldadura; tiene propiedades para embutido profundo, no es templable ni magnético. Puede ser trabajado en frío, sin embargo, su alto grado de endurecimiento que alcanza por trabajo en frío, comparado con aceros de baja aleación, hacen requerir de mayores esfuerzos para su proceso de conformado.

Debido a su buena resistencia a la corrosión, conformado en frío y soldabilidad. Este acero es usado extensivamente para arquitectura, industria automotriz y para la fabricación de utensilios domésticos. Además, es utilizado en la construcción de estructuras y/o contenedores para industrias procesadoras de alimentación y para la industria química.

3.1.4.2.1 COMPOSICION QUIMICA

TABLA 3.1.4.2.1. Composición química Acero al cromo níquel F-3504

	C	MN	Si	P≤	S≤	Cr	Ni
min						17,5	8
max	0,08	2	0,75	0,045	0,03	19,5	10,5

3.1.4.2.2 EQUIVALENCIAS APROXIMADAS

TABLA 3.1.4.2.2. Equivalencias aproximadas Acero al cromo níquel F-3504

UNE	EURO NOR	SIS	AFNOR	AISI	EN-10088
F-3504	X5 CrNi18-10	2332	Z6CN 18-09	304	1,4301

3.1.4.2.3 PROPIEDADES MECANICAS

TABLA 3.1.4.2.3. Propiedades mecánicas acero al cromo níquel F-3504

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo Elástico	190000	Mpa
Coefficiente de Poisson	0,29	
Límite de tracción	517	Mpa
Límite Elástico	206,807	Mpa
Coefficiente de expansión térmica	$1,8 \times 10^{-5}$	1/K
densidad de masa	8000	Kg/m ³

3.1.4.2.4 PIEZAS DEL DEPÓSITO QUE SON FABRICADOS CON ESTE MATERIAL

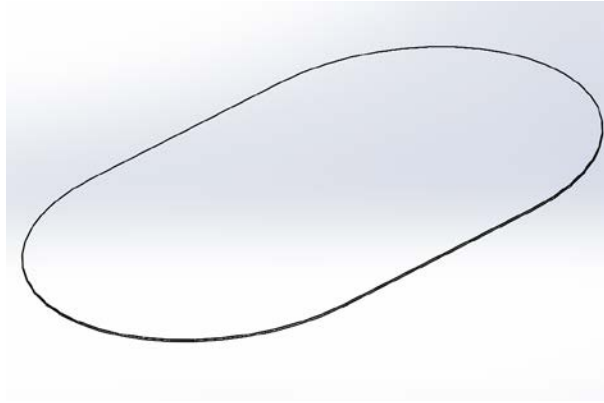


FIGURA 3.1.4.2.4.1. Plancha inferior tanque

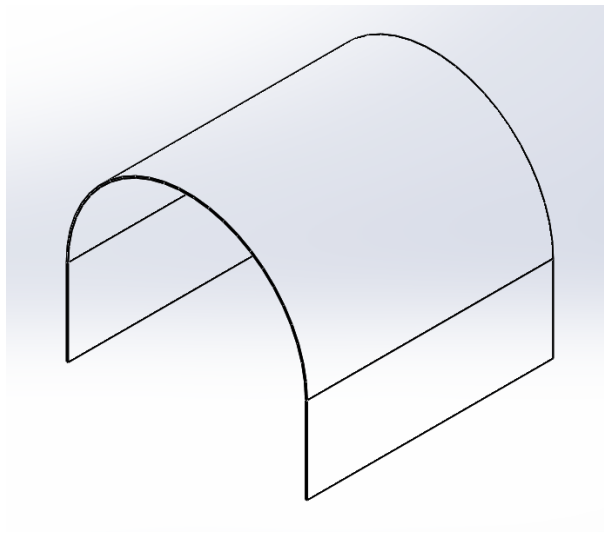


FIGURA 3.1.4.2.4.2. Plancha curvada (2 piezas)

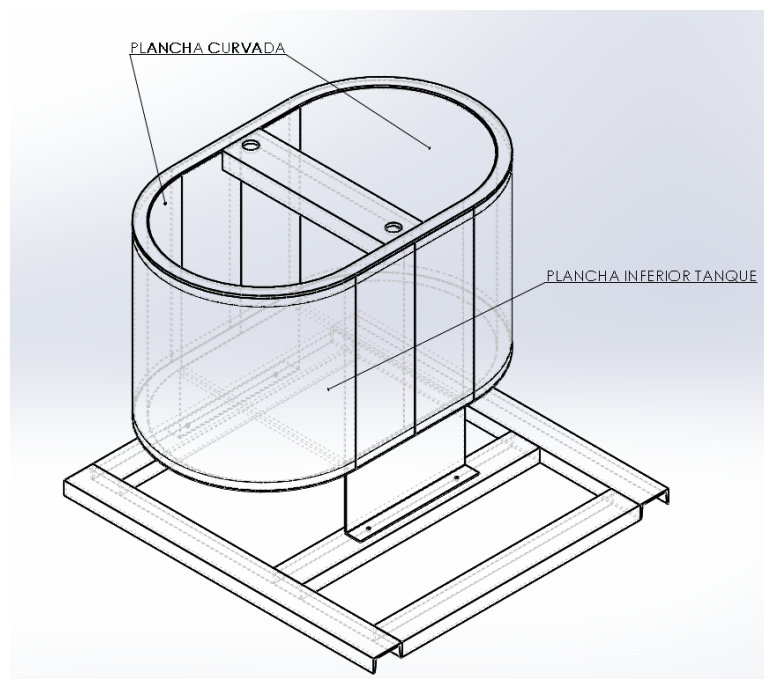


FIGURA 3.1.4.2.4.3. Ubicación de piezas en ensamblaje

3.1.4.3 ACERO ESTIRADO EN FRIO F-1140

Acero de construcción al carbono ideal para fabricación de piezas de maquinaria con resistencia de 70/90 kg/mm².

Piezas para maquinaria que han de tener buena resistencia media. Piezas de mecanizado en general sometidas a esfuerzos medios como piezas estampadas, palancas ejes arandelas de regulación, bielas, discos de embrague, coronas de arranque, etc.

También se aplica en piezas de forja que posteriormente se mecanizan y no están sometidas a esfuerzos directos, fatigas, desgastes, etc.

No tienen buenas condiciones de soldabilidad.

Puede ser sometido a temple y revenido. En el tratamiento por temple por inducción se alcanzan durezas superficiales de 55-61 HRC, capaces de soportar desgastes localizados.

3.1.4.3.1 COMPOSICIÓN QUÍMICA

TABLA 3.1.4.3.1. Composición química F-1140

	C	MN	Si	P≤	S≤
min	0,4	0,5	0,15	0,035	0,035
max	0,5	0,8	0,4		

3.1.4.3.2 EQUIVALENCIAS APROXIMADAS

TABLA 3.1.4.3.2. Equivalencias aproximadas F-1140

UNE	W-Nr	DIN	AFNOR	AIISI	EN-10083
F-1140	1,1191	CK-45	XC-45	1045	C45E

3.1.4.3.3 PROPIEDADES MECÁNICAS

Tabla 3.1.4.3.3. Propiedades mecánicas F-1140

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo Elástico	205000	Mpa
Coeficiente de Poisson	0,29	
Límite de tracción	625	Mpa
Límite Elástico	530	Mpa
Coeficiente de expansión térmica	1,15x10 ⁻⁵	1/K
densidad de masa	7850	Kg/m ³

3.1.4.3.4 PIEZAS DEL DEPÓSITO QUE SON FABRICADOS CON ESTE MATERIAL

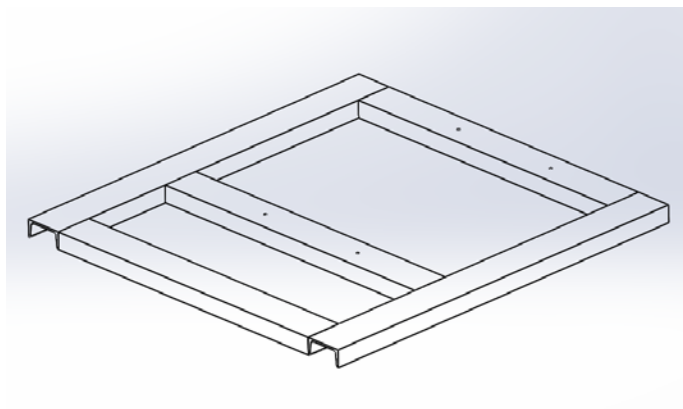


FIGURA 3.1.4.3.4.1. Ensamblaje bancada depósito

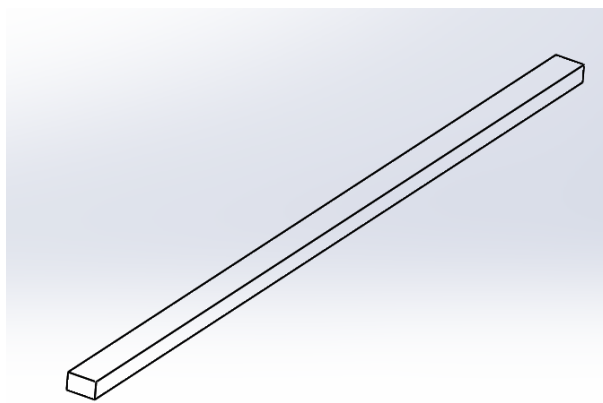


FIGURA 3.1.4.3.4.2. Pasamano 25x15 mm (2 piezas)

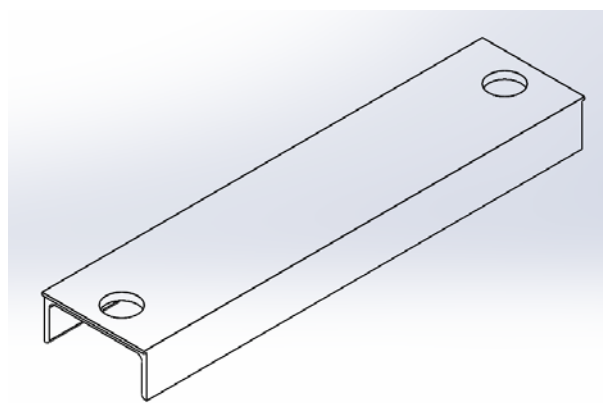


FIGURA 3.1.4.3.4.3. UPN 160x69x682

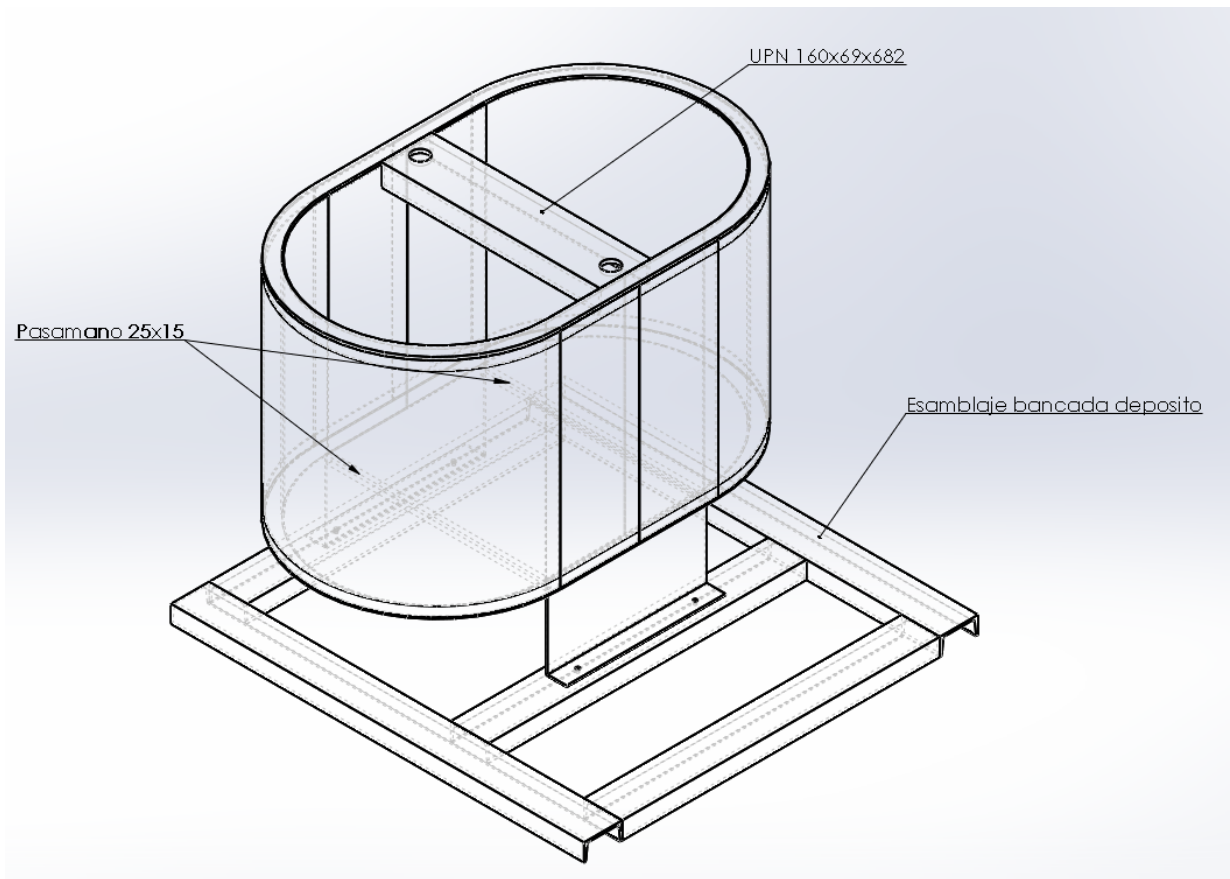


FIGURA 3.1.4.3.4.4. Ubicaci3n de piezas en acero laminado en fr3o

3.1.5 SIMULACION DEPÓSITO PARAFINA

3.1.5.1 SOFTWARE UTILIZADO

La aplicación utilizada es ANSYS Workbench, uno de los softwares más usados para realizar simulaciones FEM (Finite Element Method).

Ansys desarrolla, comercializa y presta soporte a la ingeniería a través de su software de simulación prediciendo cómo reaccionará o funcionará un determinado producto bajo un entorno realista.

Esta desarrollado para punccionar bajo la teoría de elemento finito para estructuras y volúmenes finitos llegando a alcanzar simulación con fluidos.

3.1.5.2 MODELO IMPORTADO

Como se ha explicado anteriormente el programa permite la exportación de archivos generados en otros softwares, dedicados a la modelización y parametrización de piezas o productos para analizar.

En este caso hemos modelado en Solidworks el depósito excluyendo las piezas que no entrarán en este estudio, ya que se consideran no importantes en el comportamiento estructural del depósito.

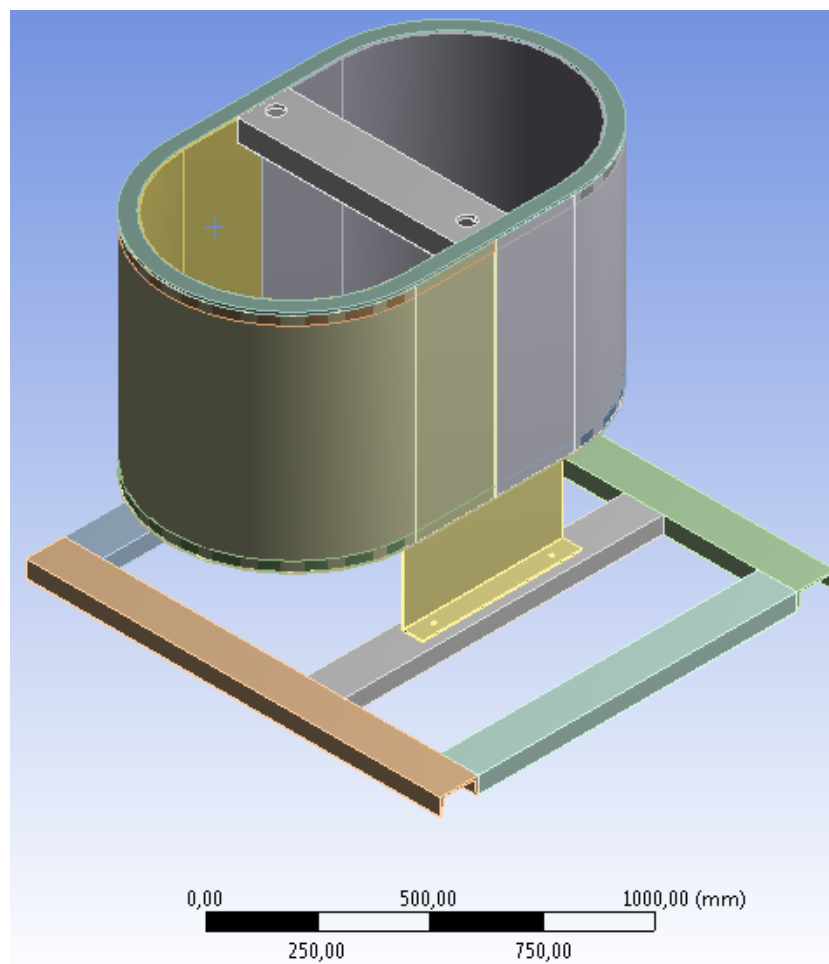


FIGURA 3.1.5.2. Modelo depósito en Ansys

3.1.5.3 MALLADO DEPOSITO DE PARAFINA

Una vez importado el modelo se ha procedido a la asignación de los materiales definidos anteriormente tal y como se conoce en los procesos de fabricación del depósito en la actualidad

A continuación, se ha definido un mallado por defecto el cual nos da los siguientes parámetros de mallado.

- Numero de nodos: 291264
- Número de elementos: 46646
- Tipo de elemento finito: Tetraedro de 10 nodos y hexaedros de 20 nodos

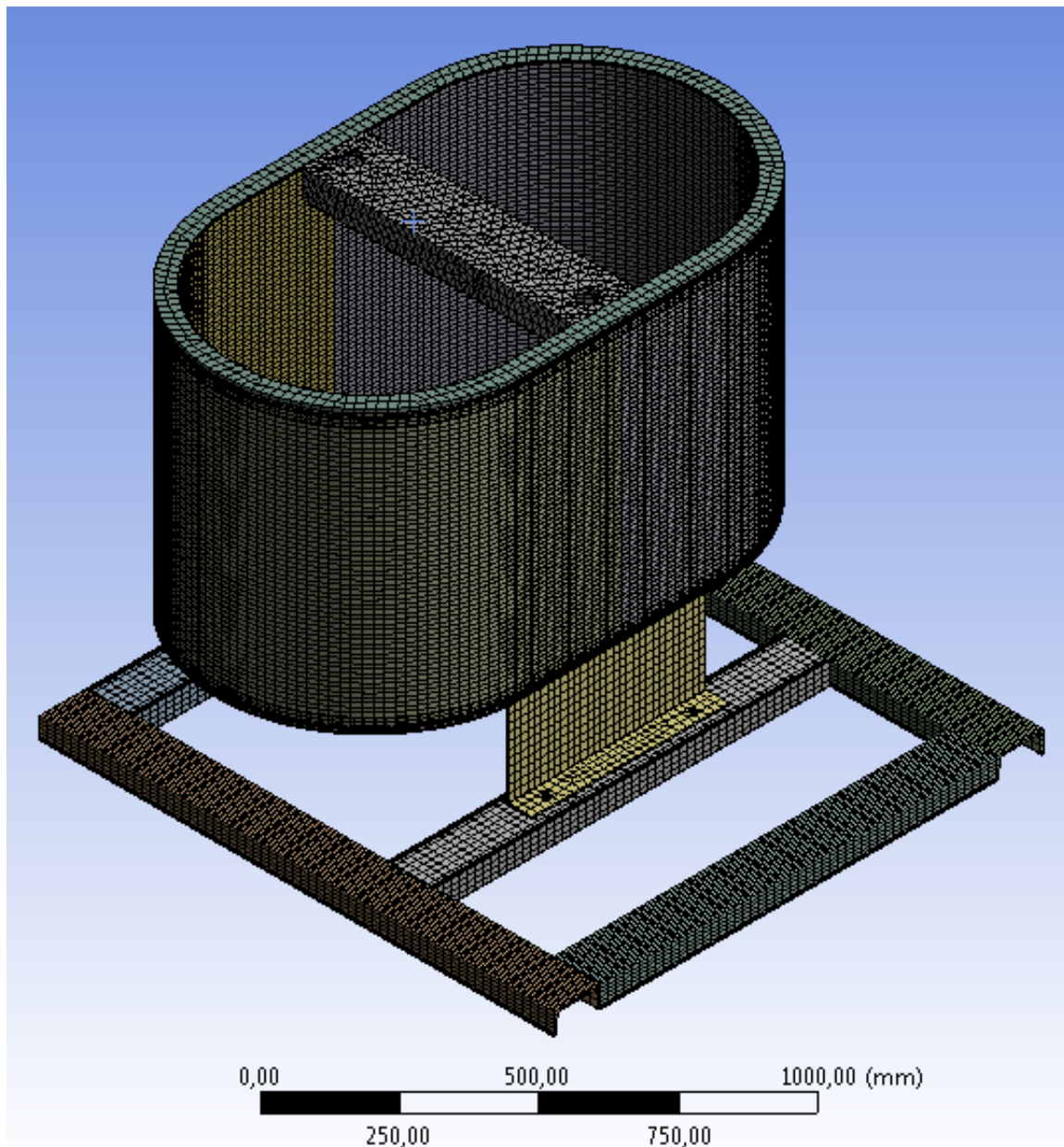


FIGURA 3.1.5.3. Depósito mallado

3.1.5.4 CARGAS Y CONDICIONES DE CONTORNO

Posteriormente, se aplican a la simulación las cargas y fijaciones más próximas a la que el depósito estará sometido. Estas condiciones son las que se proponen sabiendo el uso que se le da al depósito y al alcance de este análisis. El comportamiento térmico y dinámico del fluido, habrían de ser incluidos en posteriores análisis más detallados.

En el simulador se ha determinado una fijación en la parte inferior de la bancada pretendiendo simular su anclaje al suelo. También se le añade la carga del peso propio que la propia estructura ejerce sobre ella misma por el efecto de la gravedad.

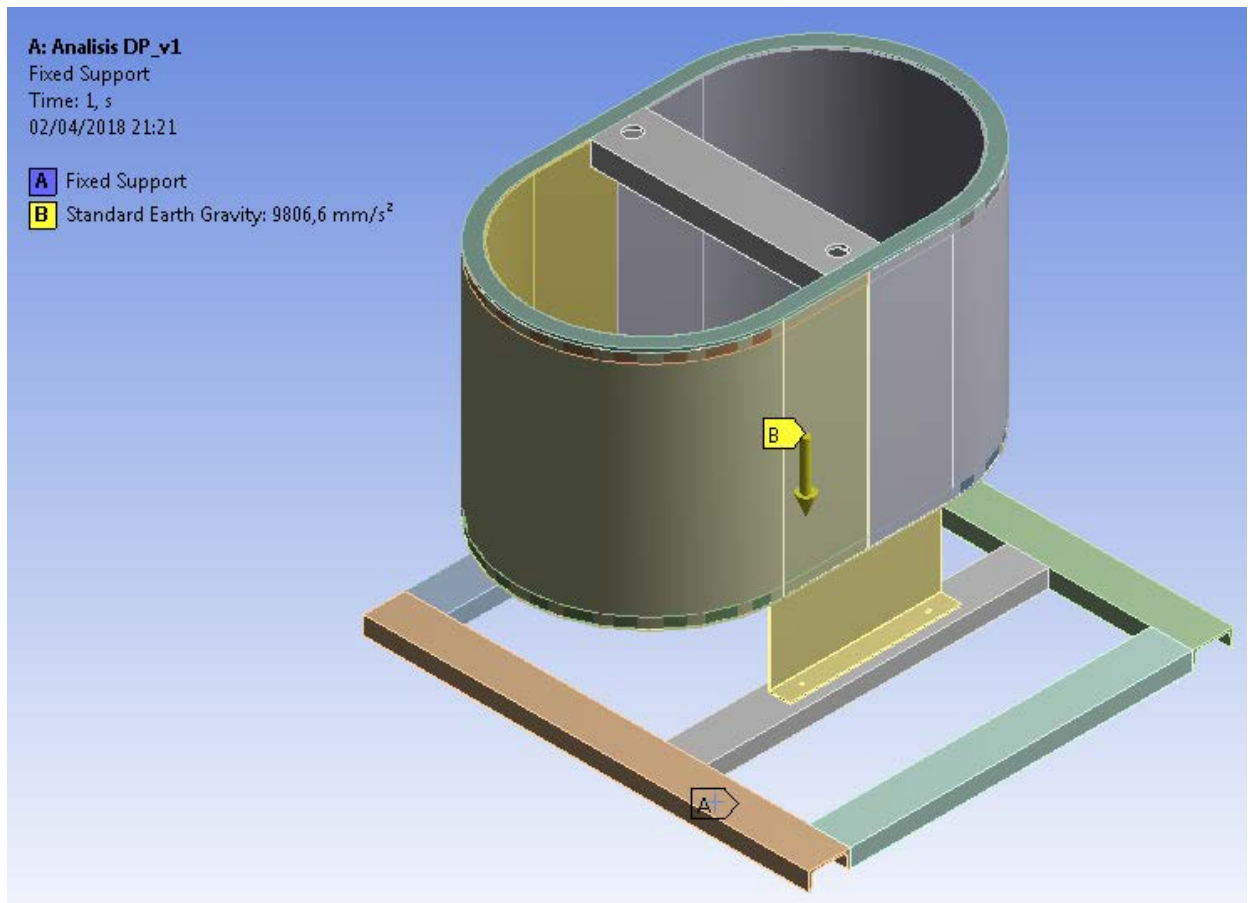


FIGURA 3.1.5.4. Condiciones de fijación y gravedad

3.1.5.5 PRESIÓN EJERCIDA POR LA PARAFINA ESTANCADA

Se procede a simular la presión ejercida por la parafina cuando este en estado de reposo, las paredes internas del depósito tienen una presión variable en función de su altura y por el principio de presión hidrostática podríamos aplicar la formula siguiente:

$$P = \rho * g * h$$

Donde

P = Presión ejercida en MPa

ρ = Densidad de la parafina en este caso

g = Gravedad

h = Altura

Los datos se han obtenido en una hoja de Excel y los resultados se han exportado al simulador donde se han añadido como presión variable tabular.

TABLA 3.1.5.5. Datos de entrada calculados en Excel

PRESION PARAFINA SOBRE EL DEPOSITO					
DENSIDAD (Kg/m ³) 20 °C		900			
GRAVEDAD (m/s ²)		9,81			
ALTURA (mm)	PRESIÓN (Mpa)	ALTURA (mm)	PRESIÓN (Mpa)	ALTURA (mm)	PRESIÓN (Mpa)
5	4,41E-05	205	1,81E-03	405	3,58E-03
10	8,83E-05	210	1,85E-03	410	3,62E-03
15	1,32E-04	215	1,90E-03	415	3,66E-03
20	1,77E-04	220	1,94E-03	420	3,71E-03
25	2,21E-04	225	1,99E-03	425	3,75E-03
30	2,65E-04	230	2,03E-03	430	3,80E-03
35	3,09E-04	235	2,07E-03	435	3,84E-03
40	3,53E-04	240	2,12E-03	440	3,88E-03
45	3,97E-04	245	2,16E-03	445	3,93E-03
50	4,41E-04	250	2,21E-03	450	3,97E-03
55	4,86E-04	255	2,25E-03	455	4,02E-03
60	5,30E-04	260	2,30E-03	460	4,06E-03
65	5,74E-04	265	2,34E-03	465	4,11E-03
70	6,18E-04	270	2,38E-03	470	4,15E-03
75	6,62E-04	275	2,43E-03	475	4,19E-03
80	7,06E-04	280	2,47E-03	480	4,24E-03
85	7,50E-04	285	2,52E-03	485	4,28E-03
90	7,95E-04	290	2,56E-03	490	4,33E-03
95	8,39E-04	295	2,60E-03	495	4,37E-03
100	8,83E-04	300	2,65E-03	500	4,41E-03
105	9,27E-04	305	2,69E-03	505	4,46E-03

110	9,71E-04	310	2,74E-03	510	4,50E-03
115	1,02E-03	315	2,78E-03	515	4,55E-03
120	1,06E-03	320	2,83E-03	520	4,59E-03
125	1,10E-03	325	2,87E-03	525	4,64E-03
130	1,15E-03	330	2,91E-03	530	4,68E-03
135	1,19E-03	335	2,96E-03	535	4,72E-03
140	1,24E-03	340	3,00E-03	540	4,77E-03
145	1,28E-03	345	3,05E-03	545	4,81E-03
150	1,32E-03	350	3,09E-03	550	4,86E-03
155	1,37E-03	355	3,13E-03	555	4,90E-03
160	1,41E-03	360	3,18E-03	560	4,94E-03
165	1,46E-03	365	3,22E-03	565	4,99E-03
170	1,50E-03	370	3,27E-03	570	5,03E-03
175	1,55E-03	375	3,31E-03	575	5,08E-03
180	1,59E-03	380	3,36E-03	580	5,12E-03
185	1,63E-03	385	3,40E-03	585	5,16E-03
190	1,68E-03	390	3,44E-03	590	5,21E-03
195	1,72E-03	395	3,49E-03	595	5,25E-03
200	1,77E-03	400	3,53E-03	600	5,30E-03

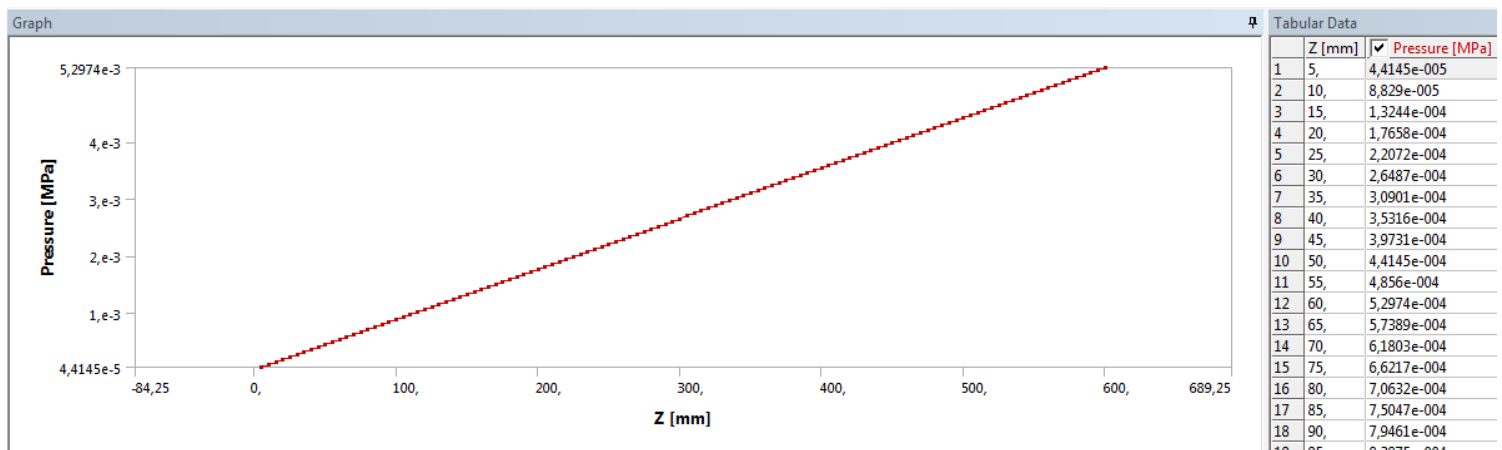


FIGURA 3.1.5.5.1. Recepción de datos en el Ansys

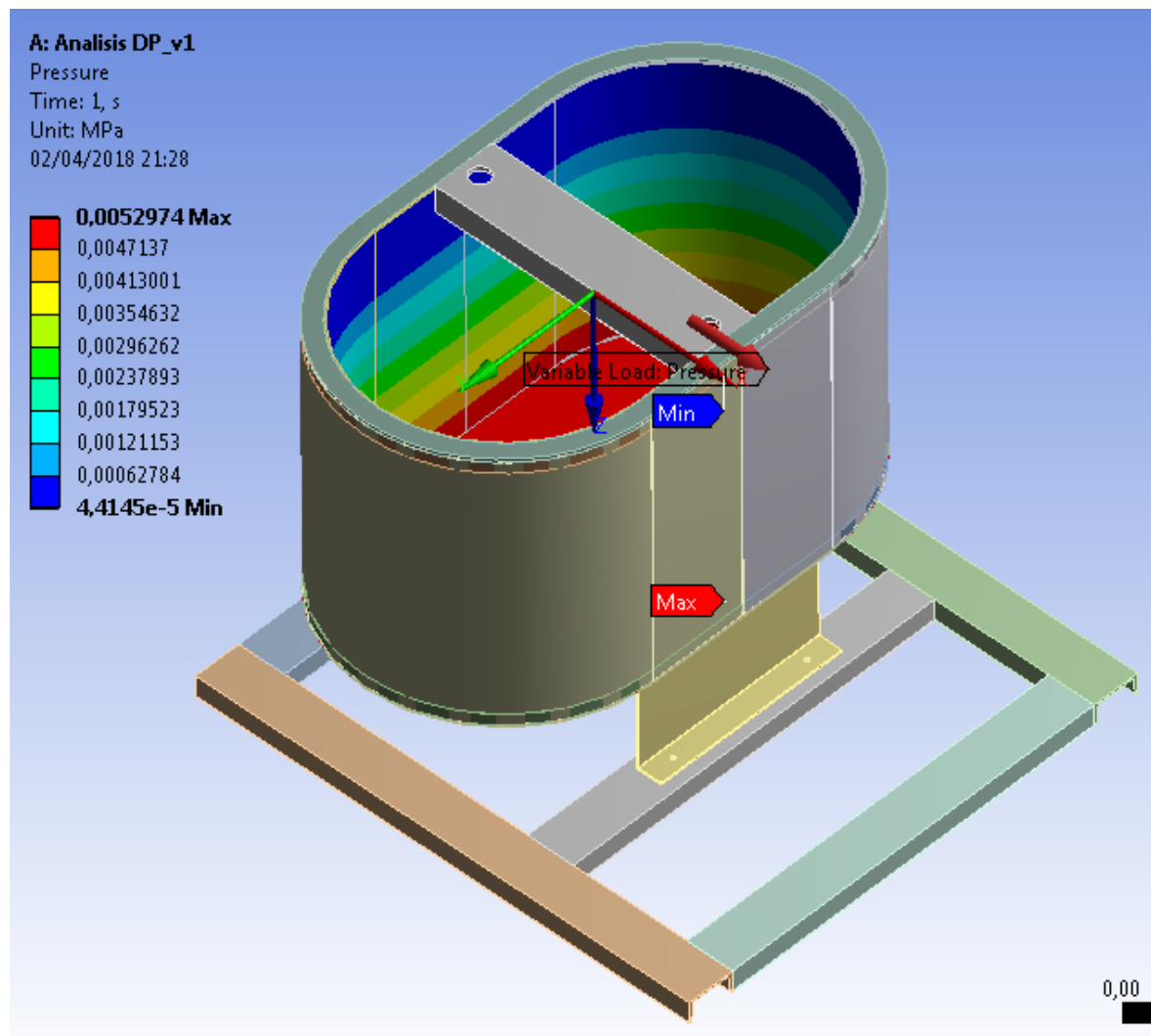


FIGURA 3.1.5.5.2. Presión variable en el interior del depósito

3.1.6 RESULTADOS OBTENIDOS

Después de resolver los cálculos hechos por el simulador, se procede a la obtención de resultados, con ellos podremos realizar la comprobación y validación de las piezas del modelo, aunque para este caso los resultados nos darán una zona compuesta por una pieza o junta de piezas en donde se encuentra la mayor concentración de esfuerzos. Con esto se simplificamos por discriminación el estudio de todas las piezas del depósito, poniendo nuestra atención en las piezas que nos indica el simulador como pieza o zona crítica.

Para este análisis se ha solicitado al programa que nos entregase los siguientes resultados:

- Deformación unitaria producida por la tensión de Von Misses.
- Tensión equivalente de Von Misses.
- Deformación total.

A continuación, se presentan las figuras del simulador, referentes a los resultados obtenidos, donde se puede observar los datos máximos y mínimos encontrados.

3.1.6.1 DEFORMACION UNITARIA ELASTICA DE VON MISSES

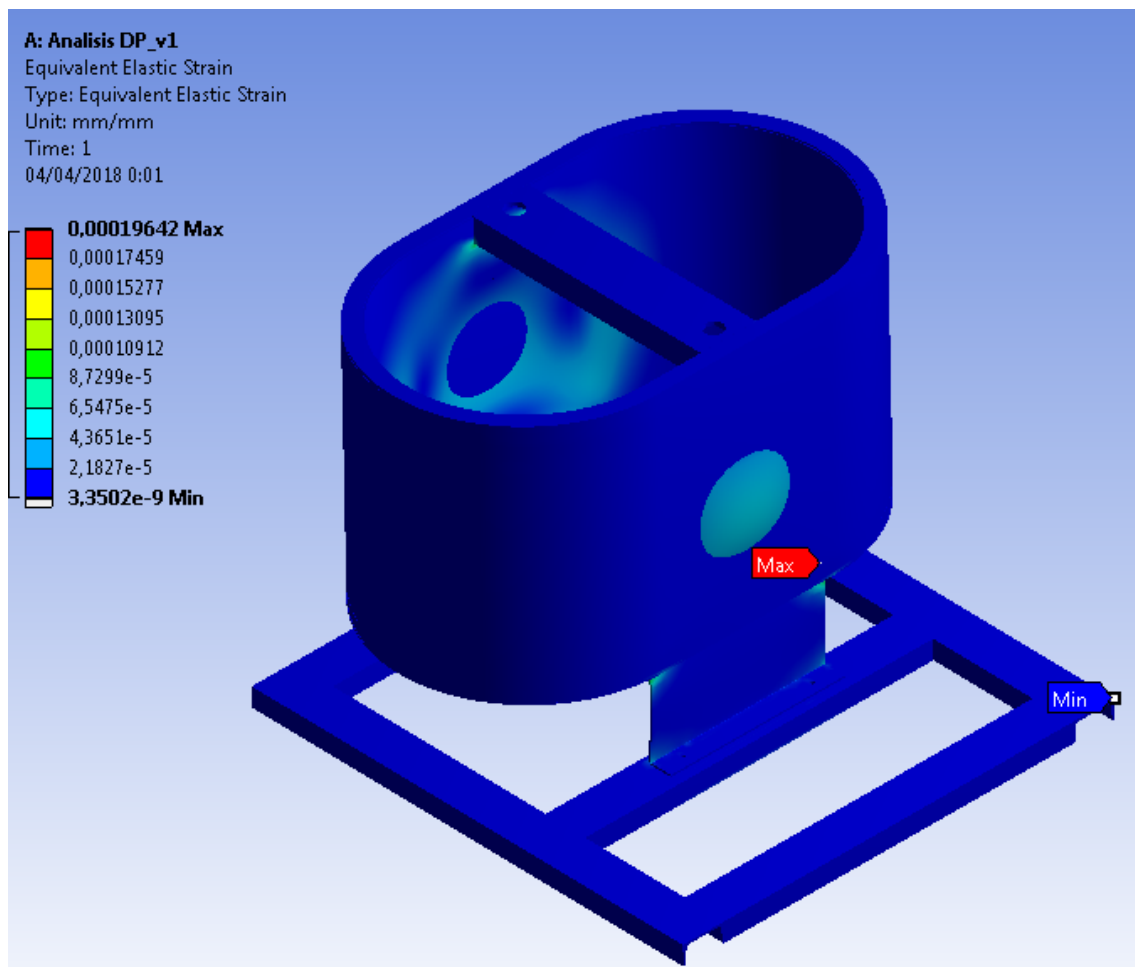


FIGURA 3.1.6.1.1. Deformación unitaria vista isométrica

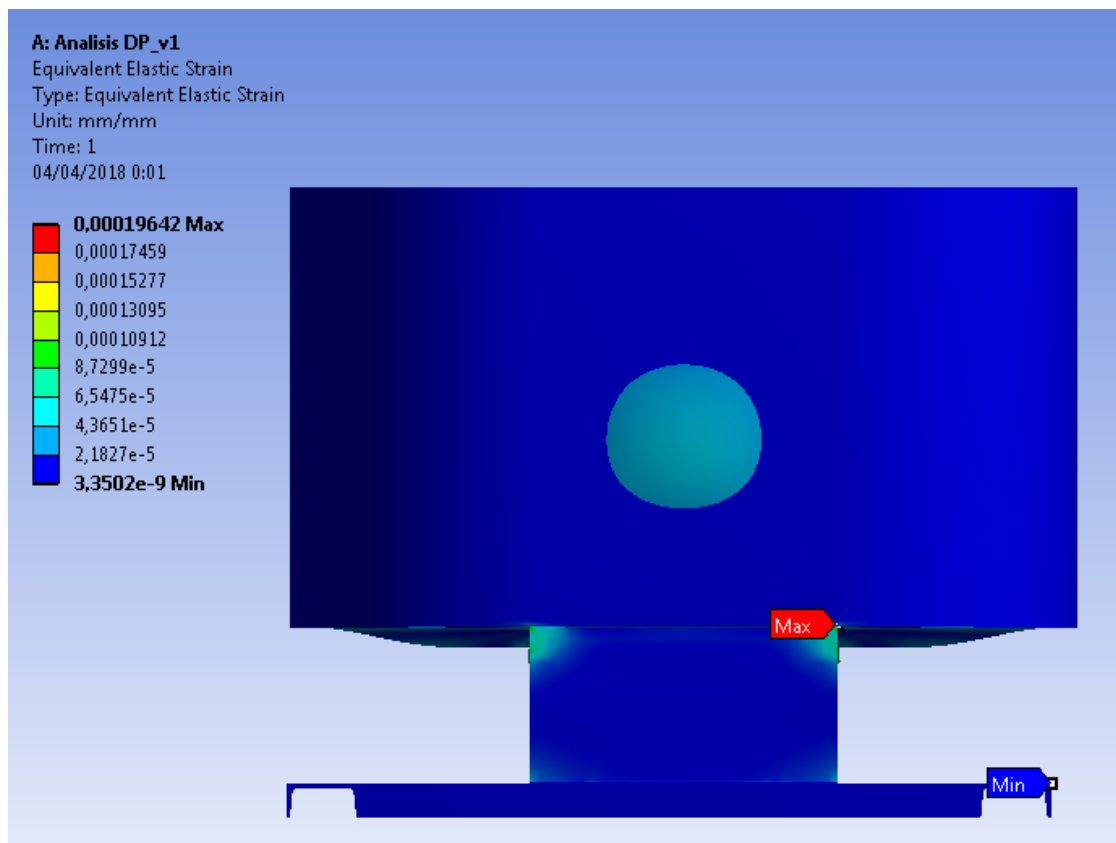


FIGURA 3.1.6.1.2. Deformación unitaria vista lateral

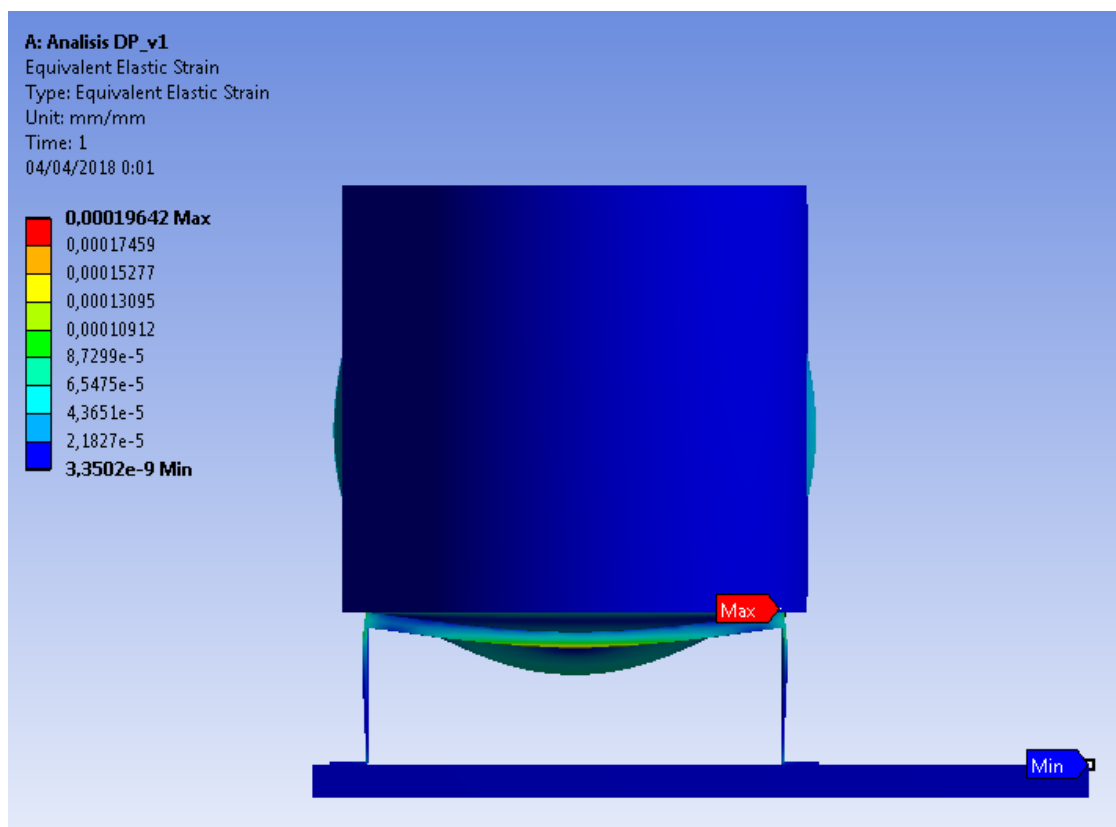


FIGURA 3.1.6.1.3. Deformación unitaria vista frontal

A: Analisis DP_v1

Equivalent Elastic Strain

Type: Equivalent Elastic Strain

Unit: mm/mm

Time: 1

04/04/2018 0:01

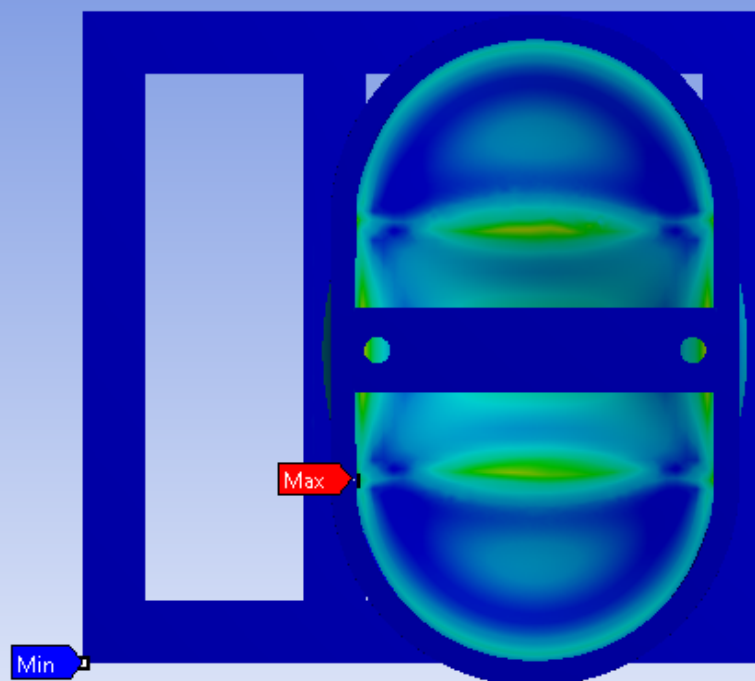
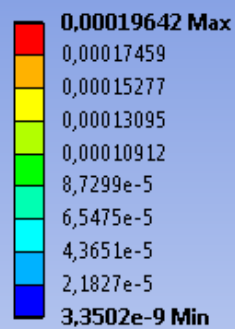


FIGURA 3.1.6.1.4. Deformación unitaria vista superior

3.1.6.2 TENSIÓN DE VON MISSES

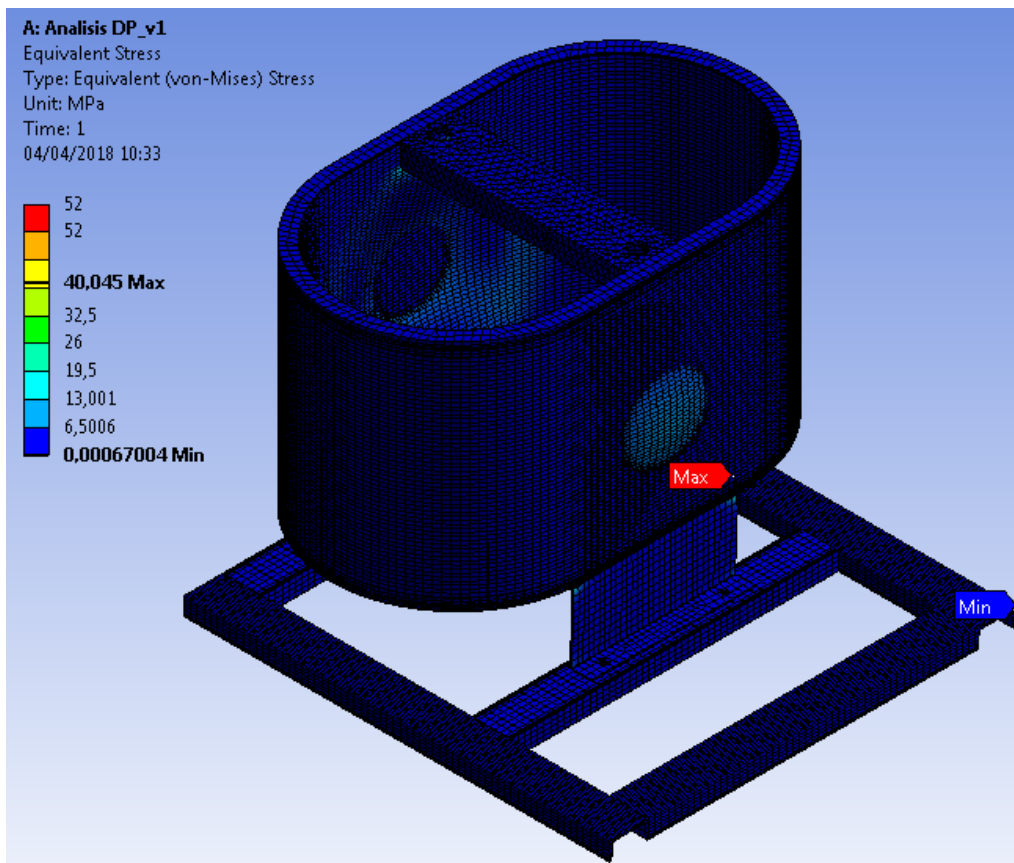


FIGURA 3.1.6.2.1. Tensión de Von Mises vista isométrica

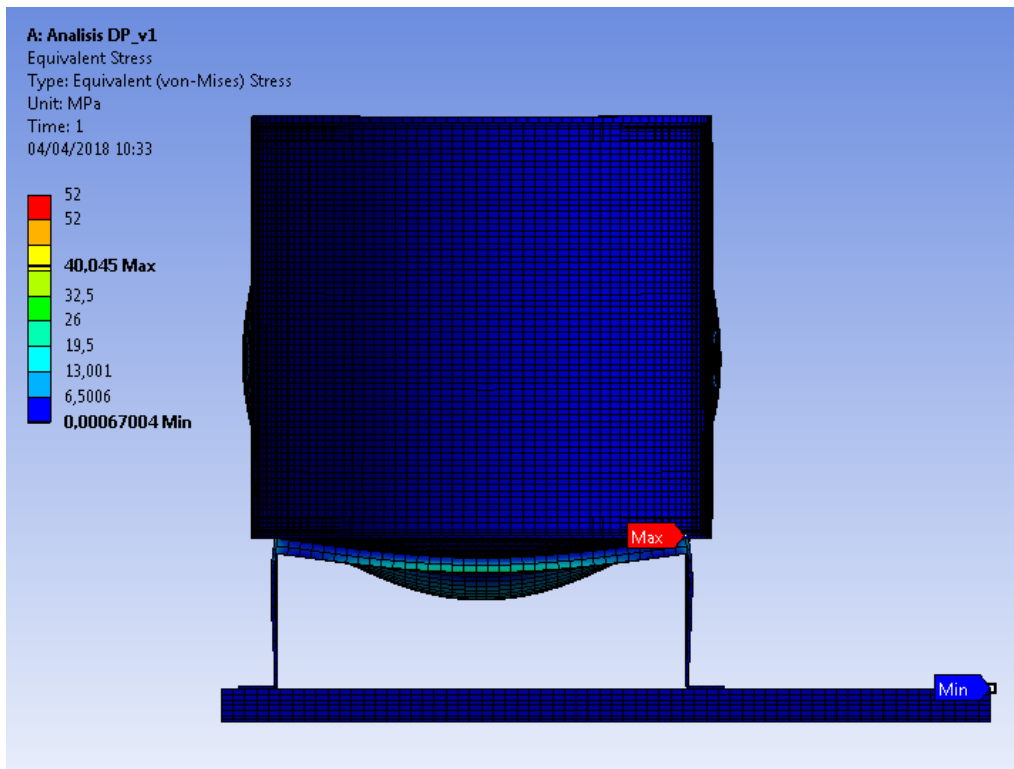


FIGURA 3.1.6.2.2. Tensión de Von Mises vista frontal

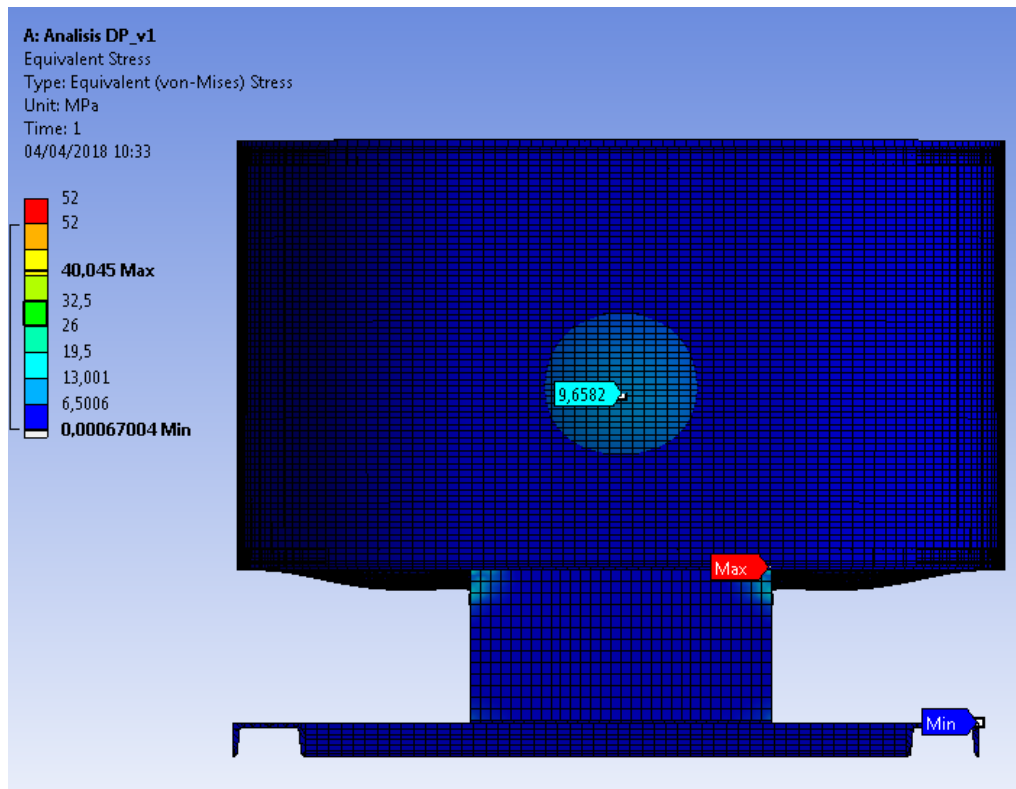


FIGURA 3.1.6.2.3. Tensión de Von Mises vista lateral

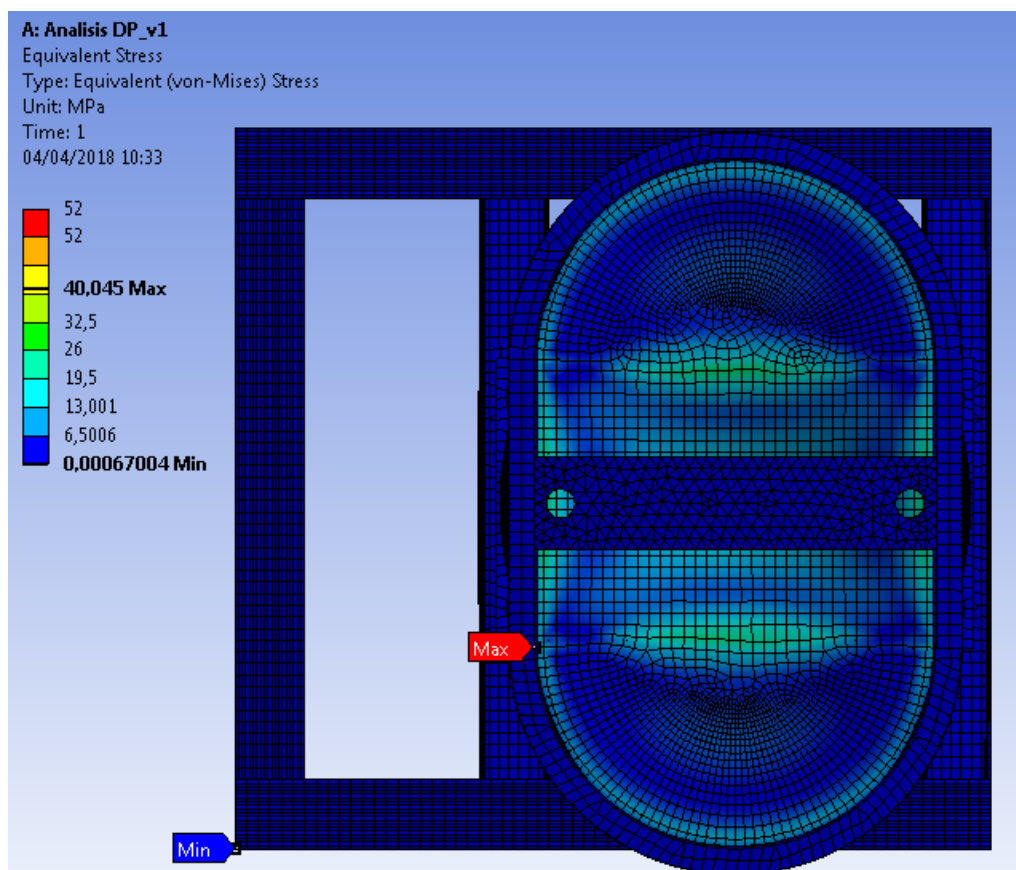


FIGURA 3.1.6.2.4. Tensión de Von Mises vista superior

3.1.6.3 DEFORMACIÓN TOTAL

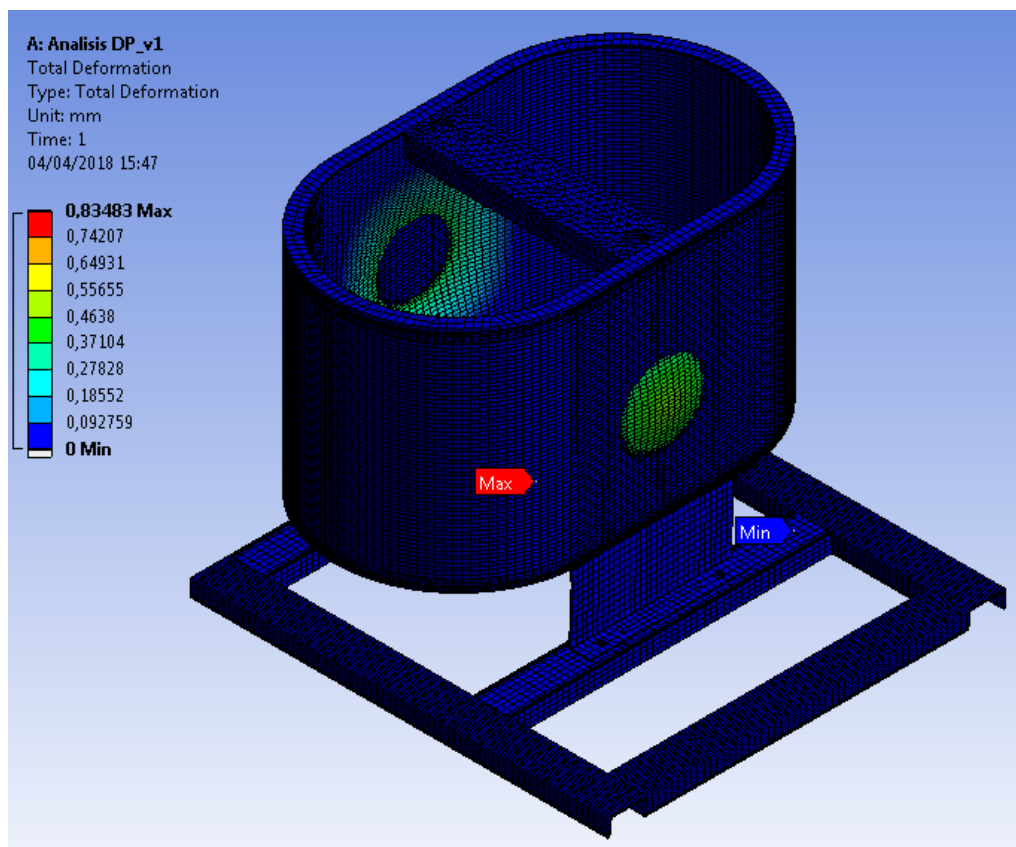


FIGURA 3.1.6.3.1 Deformación total vista isométrica

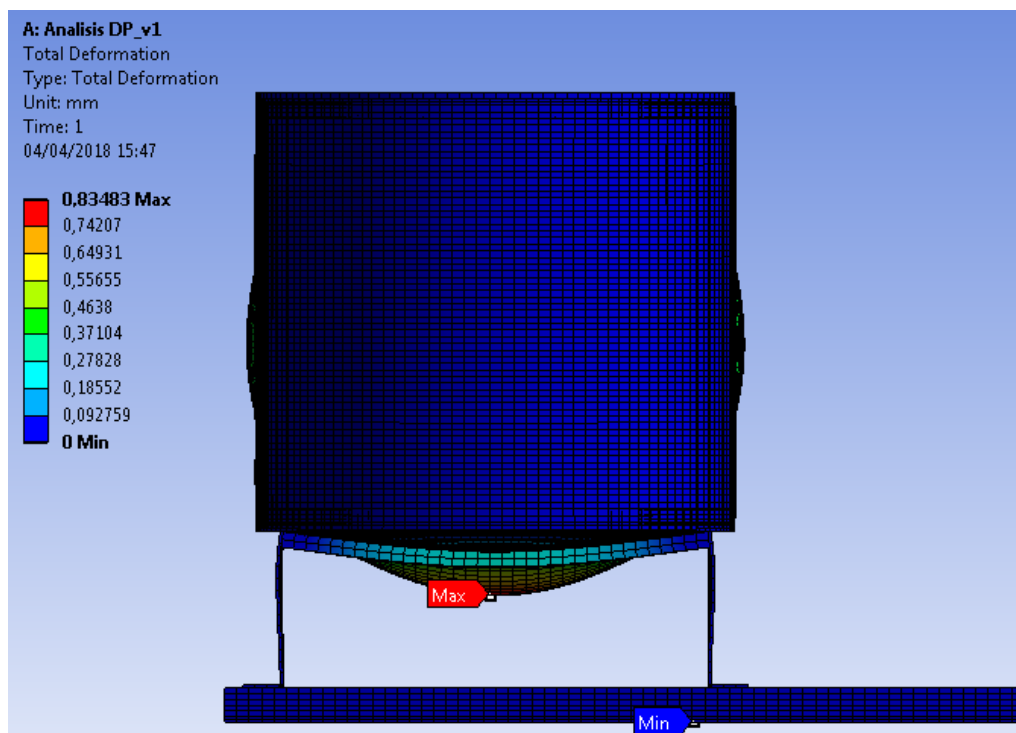


FIGURA 3.1.6.3.2. Deformación total vista frontal

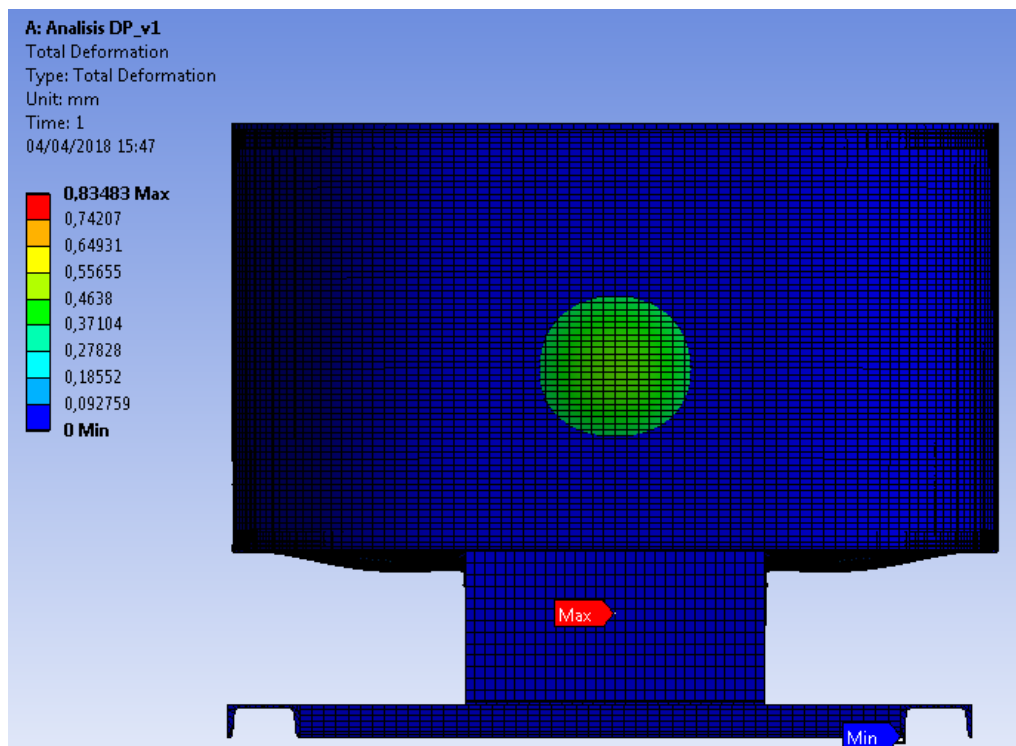


FIGURA 3.1.6.3.3. Deformación total vista lateral

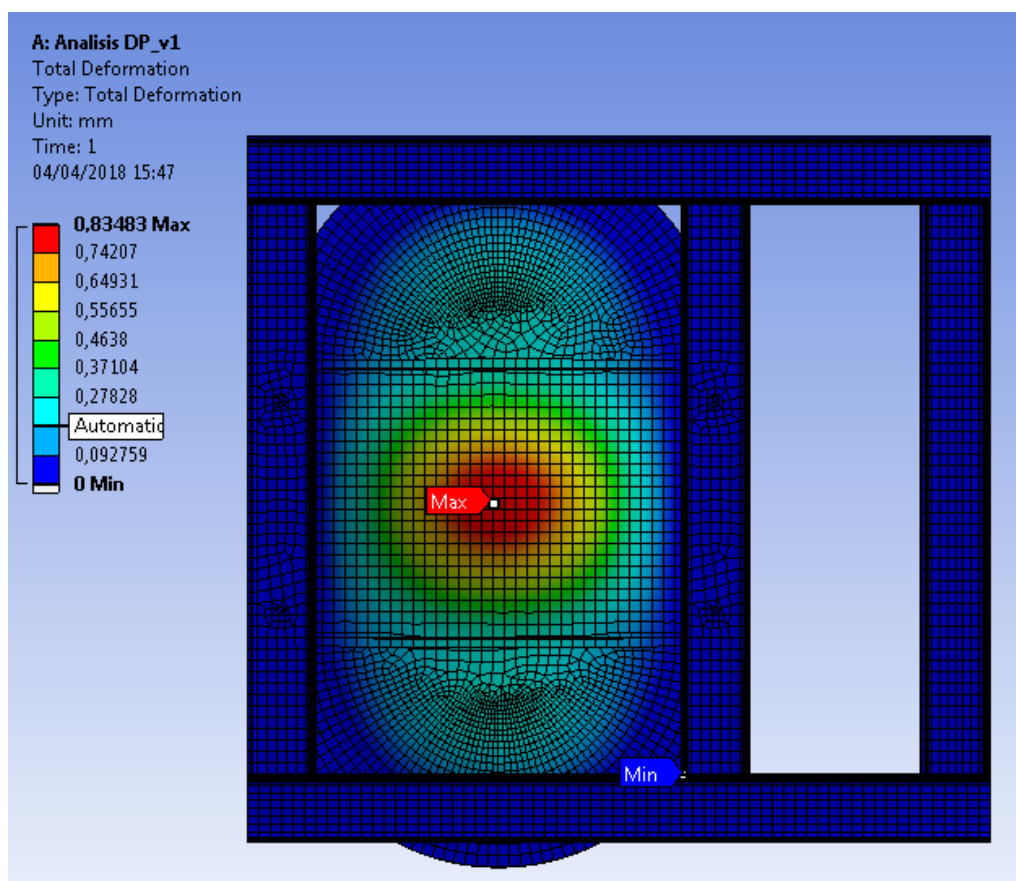


FIGURA 3.1.6.3.4. Deformación total vista inferior

3.1.6.4 FACTOR DE SEGURIDAD

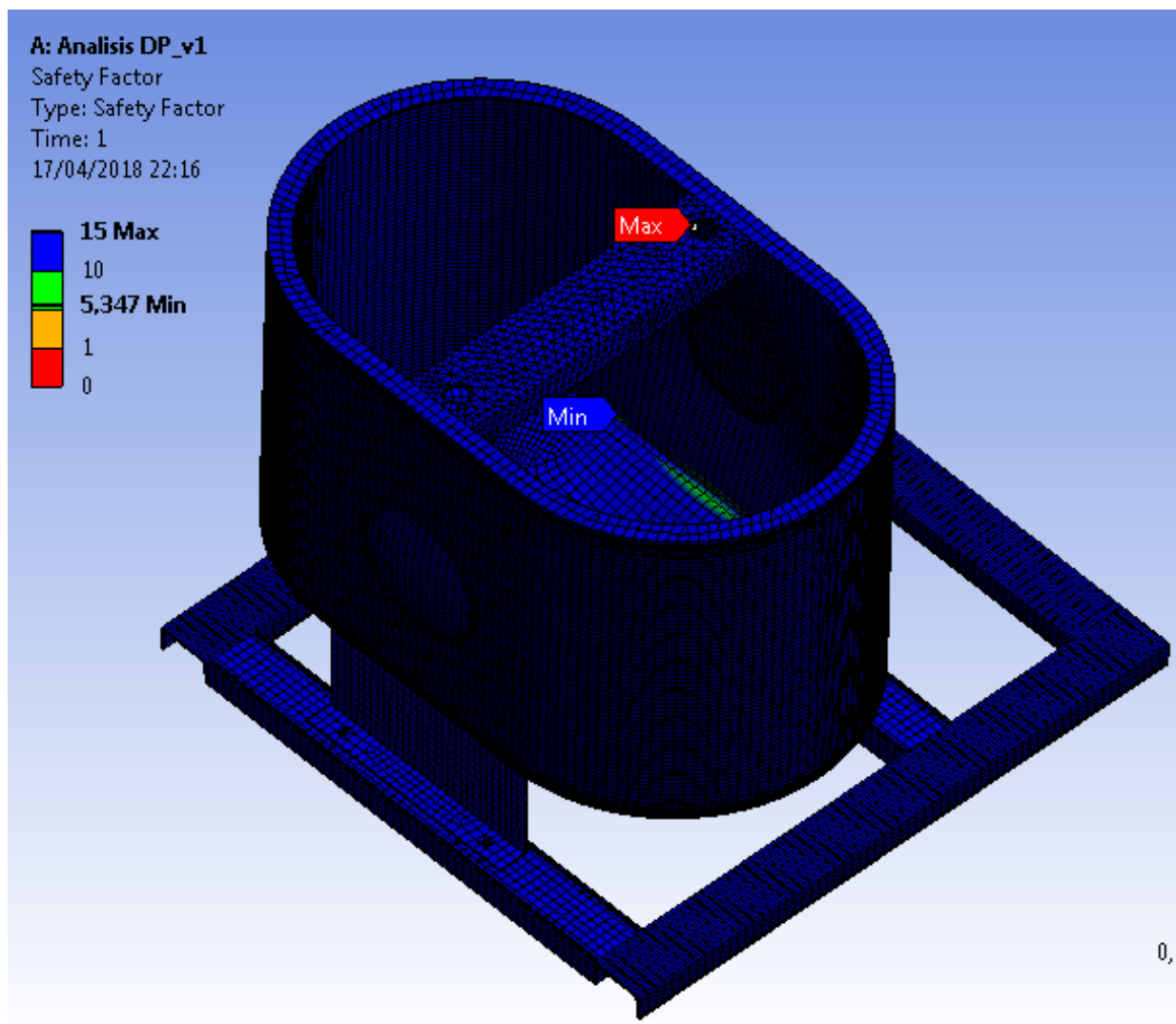


FIGURA 3.1.6.4. Puntos máximos y mínimos de Factor de seguridad

En resumen, los resultados del análisis con los materiales usados actualmente nos arrojan los siguientes resultados generales.

TABLA 3.1.6. Resultados del análisis versión 1

ANALISIS DP V1					
Tipo de resultado	Unidades	Mínimo	Máximo	Mínimo ocurre en	Máximo ocurre en
Equiavelnt Elastic Strain	mm/mm	3,3502 EXP-9	1,9642 EXP-4	UPN_120x55x1300	Plancha_curvada_2
Equivalent Stress	Mpa	6,7004 EXP-4	40,45	UPN_120x55x1300	Plancha_curvada_2
Total deformation	mm	0	0,83483	UPN_120x55x1000	Plancha inferior tanque
Factor de seguridad		5,347	15	Plancha_curvada_2	

3.1.7 VALIDACIÓN

Terminado el análisis del simulador se realiza la valoración e interpretación de los resultados.

La validación del diseño de construcción de las piezas analizadas consistirá en realizar conclusiones acerca de diferentes puntos que se tendrían que tomar en cuenta a la hora de diseñar cualquier producto.

3.1.7.1 PIEZAS CRÍTICAS

El simulador arroja un punto crítico en el ensamblaje analizado, este punto crítico está compuesto por la unión de dos piezas que trabajan soldadas, estas piezas son:

- Plancha_curvada_2
- Plancha inferior tanque

Estas dos piezas son fabricadas con el material de comercio F-1110 y F-3504 alcanzan un estado tensional máximo equivalente de 40.45 MPa.

Este estado tensional máximo no iguala o supera el límite elástico de los materiales usados en su fabricación que son 325 y 206.8 MPa respectivamente.

No obstante, no se puede olvidar que este es un análisis estático estructural, donde se ha idealizado unas condiciones de trabajo básicas, que permiten determinar unas primeras impresiones sobre si el diseño está en el camino correcto.

3.1.7.2 DEFORMACION DEL MODELO

Según los resultados de la simulación podemos afirmar que el conjunto de las piezas del modelo presenta una deformación total de 0.87999 mm.

Esta deformación ocurre en la pieza (Plancha inferior tanque) y se puntualiza en el centro de la pieza, afectando también a la pieza (pasamano 25x15)

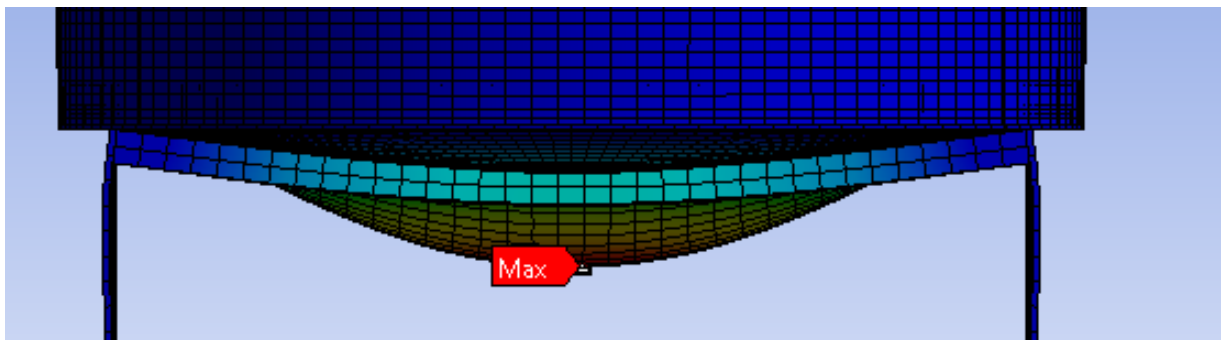


FIGURA3.2.4.2.1. Detalle deformación total

Esta deformación no supone un problema para el conjunto de piezas del modelo, dando por validado su diseño en lo que a deformación se refiere.

3.1.7.3 FACTOR DE SEGURIDAD

Teniendo en cuenta los datos de tensión equivalente y los datos obtenidos del simulador podemos afirmar que el modelo en su conjunto tiene un factor de seguridad máximo de 15 y mínimo de 5.34, ubicando este mínimo en la pieza (Plancha curvada), esta pieza es una de las que está en contacto directo con la presión de la parafina estancada y es fabricada con el acero INOX F-3504 que posee un límite elástico de 206.80 MPa, el simulador ha obtenido este dato aplicando la siguiente formula:

$$FS = \frac{\sigma_y}{\sigma_{eq}}$$

Donde:

σ_y = Límite elástico del material

σ_{eq} = Tensión máxima equivalente

Usando esta fórmula para calcular el FS mínimo entregado por el simulador comprobamos que el resultado es coherente con la simulación.

$$FS = \frac{206.807}{38.677} = 5.34$$

El factor de seguridad mínimo encontrado nos indica que incluso la pieza más comprometida no representa un problema de consideración para el rendimiento estructural del modelo, por lo tanto, podemos validar el diseño y los materiales elegidos para su construcción.

3.1.7.4 OBSERVACIONES

Si bien el modelo supera las pruebas de resistencia y elasticidad con este tipo de análisis, se puede considerar un replanteo del diseño para optimizar su coste y funcionamiento. Con los resultados obtenidos se puede evidenciar que los materiales soportan los esfuerzos con un factor de seguridad que nos indica que el material tiene un límite elástico hasta 5 veces superior a la tensión máxima en la pieza más crítica encontrada, por lo tanto, podemos afirmar que hay un sobredimensionamiento aplicado por dos factores:

- Escasos recursos de la empresa para desarrollar las comprobaciones del diseño y más aún llevarlas a cabo
- Insuficiente presión del mercado, es decir, que el cliente al que está dirigido este tipo de producto también colabora con la poca exigencia sobre la calidad del producto, que a su vez está relacionado con el precio de adquisición de la máquina, por lo tanto, es un círculo vicioso que ha provocado que en la actualidad existan máquinas con poco desarrollo en el mercado. “¡Funcionan y ya está!!!”

3.2 BARRA DE MECANISMO EXCENTRICO

3.2.1 DESCRIPCION BASICA DE FUNCIONAMIENTO

El mecanismo excéntrico de la máquina consiste en aplicar un movimiento de traslación a los rodillos utilizados para la aplicación de parafina, con el objetivo de poder regular la cantidad de parafina que se aplica.

Este mecanismo emplea unas piezas mecanizadas que sirven como apoyo a las fuerzas ejercidas en el desplazamiento. Estas piezas constan de un casquillo con dos diámetros diferentes y con una excentricidad entre ellas de 5 mm, esta excentricidad es suficiente para la regulación del material a aplicar, ya que los espesores de aplicación o GAP van desde 0,05 mm a 0,3 mm.

La influencia del mecanismo en la maquina se centra en el paralelismo de los ejes de trabajo, y tiene una relativa importancia en los ciclos de trabajo de la máquina.

El procedimiento para controlar paralelismo de los ejes siempre parte del rodillo arenado (rodillo inferior), y sobre este, se hace el ajuste del paralelismo del rodillo de caucho, este rodillo de caucho se ajusta moviendo los tornillos que se apoyan en las piezas excéntricas del ajuste del espesor (GAP).

Los pasos a seguir son los siguientes:

- Se sitúan las piezas excéntricas en su punto más bajo a través del volante motorizado de ajuste del espesor (GAP)
- Se deben ajustar los tornillos situados encima de las piezas excéntricas de forma que el rodillo de caucho quede totalmente paralelo con el rodillo arenado y que pase una galga de 0,05 mm en todo el ancho del rodillo.
- Desacoplar el encoder de la brida de sujeción y moverlo manualmente hasta que en pantalla se visualice 0,05 mm.
- Acoplar de nuevo el encoder a la brida.
- Se deben bloquear los tornillos de ajuste de las piezas excéntricas.
- Comprobar que el rodillo superior prensa cuando está en posición de trabajo, se apoya en todo su ancho en el rodillo de goma.

Desde el panel de mandos se visualiza todas regulaciones posibles como se muestra en la figura 3.2.1.

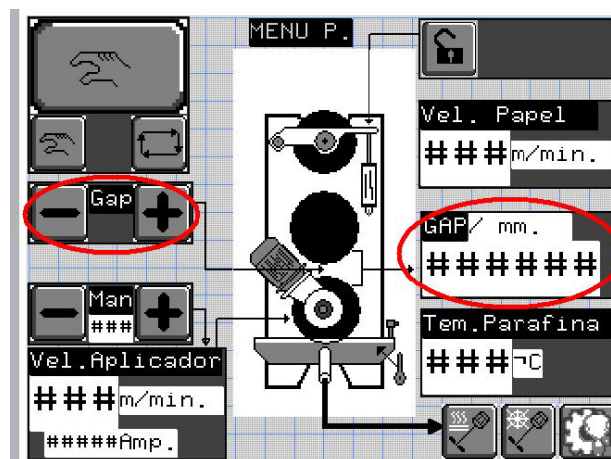


FIGURA 3.2.1. Pantalla control del GAP

3.2.2 DESCRIPCION DEL PROBLEMA

La pieza que se va a analizar en este estudio será la barra excéntrica. Esta pieza tiene una sollicitación constante en 7 puntos de la barra, al igual que el depósito de parafina, solo existe un plano donde se propone un modelo de fabricación, pero no existe un documento que nos dé información del comportamiento de la barra ante la sollicitación.

Cuando la barra entra al ciclo de trabajo y comienza a soportar los esfuerzos de las piezas del mecanismo, sabemos que la barra entra en un estado tensional que no sabemos cuantificar sin una simulación de funcionamiento previo.

A continuación, en la figura 3.2.2.1., se muestra una foto de un aplicador de parafina en reparación, donde se pueden observar las piezas que intervienen en la carga de la barra excéntrica.

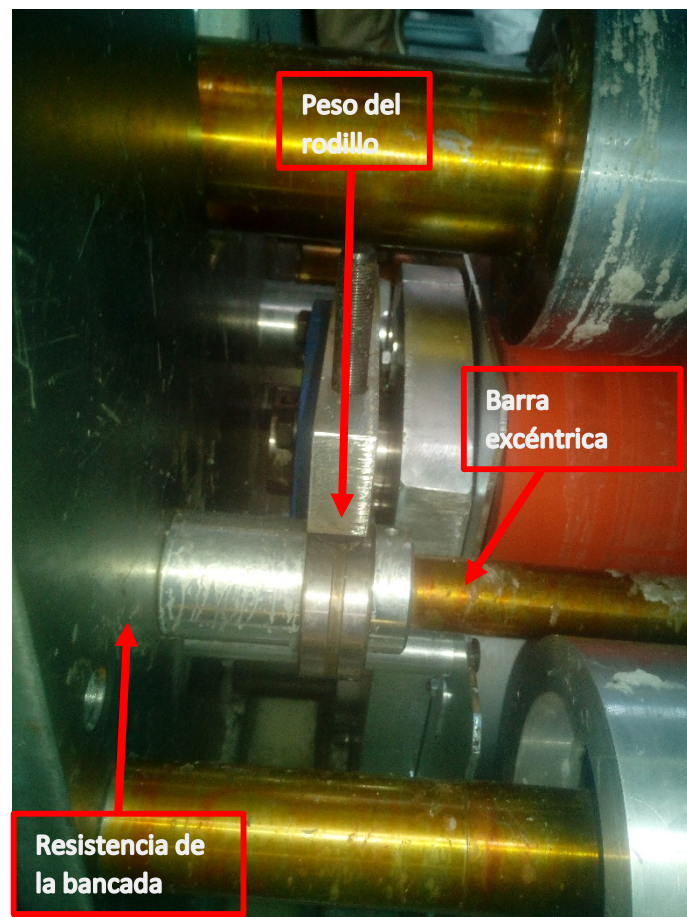


FIGURA 3.2.2.1 Mecanismo excéntrico en funcionamiento

Se plantea un posible fallo en la regulación de la maquina por efecto de la deformación en la barra que sujeta el mecanismo excéntrico, como se ha explicado anteriormente, la regulación del GAP (parámetro de cantidad de parafina que se quiere aplicar) requiere de un ajuste micrométrico utilizando galgas calibradas para poner la maquina en su punto de medición cero. Como se sabe, la barra sujeta las piezas excéntricas acopladas a unos rodamientos de agujas, este conjunto requiere una linealidad que puede verse afectada por una posible deformación por flecha de la barra en su punto medio.

El análisis estático para la definición de los diámetros y materiales con los que construir la barra se presentan como alternativa para evitar este posible fallo.

Se sabe que la barra soporta las cargas porque la experiencia de los operarios de la máquina y la de los fabricantes nos indican que no existen problemas visibles en primera instancia, pero, ¿se puede quedar convencido de esto, un cliente más exigente?

Un cliente más exigente puede pedir que el fabricante le dé un respaldo técnico a una pieza que considera potencialmente un problema, lo cual no sucede en esta máquina.

Esta situación puede generar un problema de credibilidad ante un cliente exigente, ya que, ante cualquier problema de este mecanismo, el fabricante no sabría darle una explicación sobre la causa que genera el mismo.

Los posibles problemas y preguntas al que el fabricante se puede enfrentar sobre el mecanismo que estamos analizando serian:

- ¿La barra se deforma?
- ¿La barra se rompe?
- ¿Qué repercusión tiene la deformación o rotura de la barra en las piezas que forman parte del mecanismo?
- ¿Es correcto el diseño de la barra en diámetros y materiales?

3.2.3 MODELADO

Se ha realizado el modelado el aplicador de parafina utilizando los planos en PDF de los que se disponían, se han realizado los croquis y creado los sólidos a partir de ellos. Las piezas que se han podido modelar son las que forman el conjunto principal de la máquina, no se han modelado más detalles, ya que no están en consideración para el estudio.

3.2.3.1 MODELO APLICADOR APC 2550

La finalidad de este modelo es la ubicación del mecanismo excéntrico en su posición real, y tener una idea de cuál sería su función en la máquina junto con aquellas que le acompañan en su trabajo.

Otro motivo para lo cual se ha realizado este modelo, es poder utilizarlo en análisis futuros, donde aplicando la metodología en este trabajo final de grado, se podría analizar más piezas en las que pueden presentar problemas y mediante esta herramienta de validación, poder determinar una razón de fallo y una posible solución también.



FIGURA 3.2.3.1.1. Modelo básico aplicador parafina

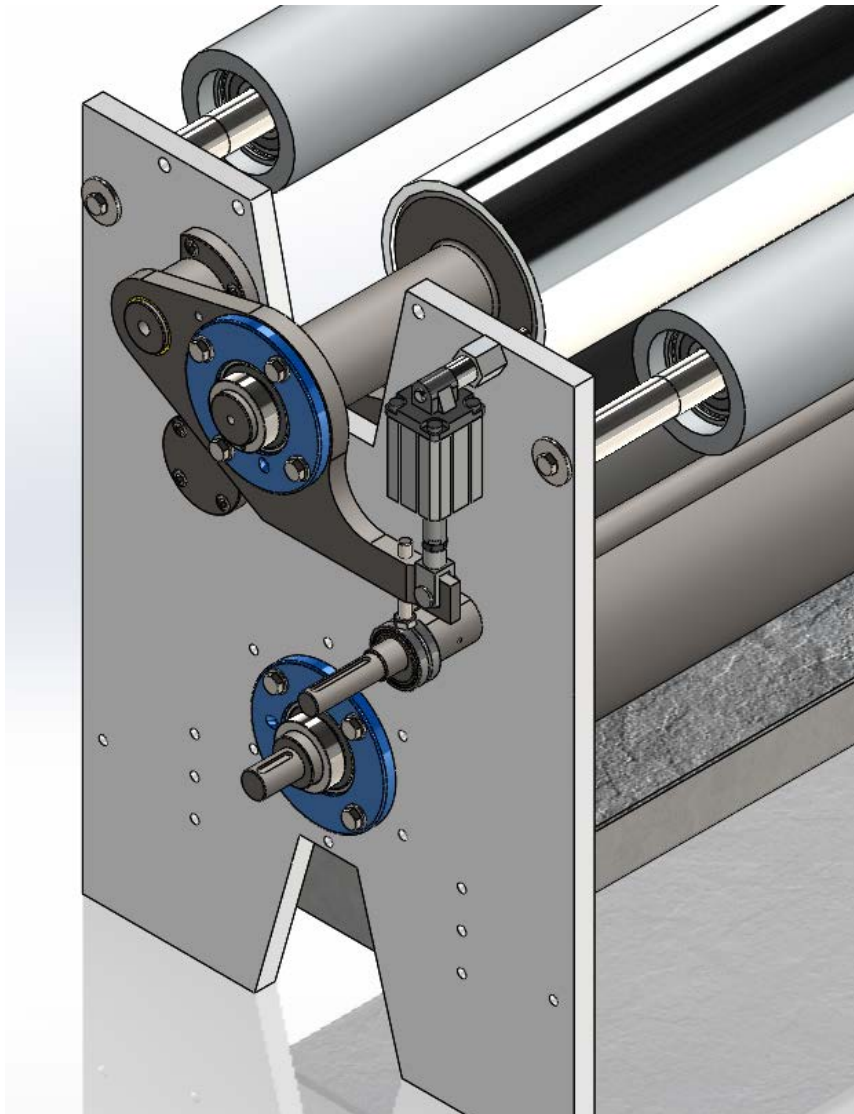


FIGURA 3.2.3.1.2. Ensamblaje de piezas

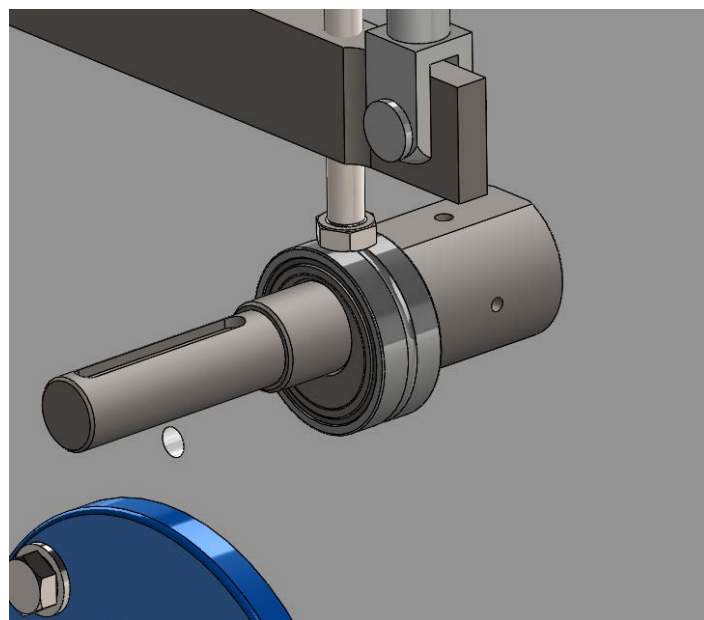


FIGURA 3.2.3.1.3. Detalle mecanismo excéntrico

3.2.3.2 MODELO SIMPLIFICADO MECANISMO EXCENTRICO

Se ha generado un modelo simplificado donde solo se ha tomado en cuenta las piezas que serán llevadas al simulador. Las piezas escogidas son las que se cree que pueden tener influencia sobre el comportamiento de la barra excéntrica objeto de este análisis.

Se ha modificado la bancada de la maquina ya que su tamaño al completo no influye en los resultados de los cálculos en el simulador.

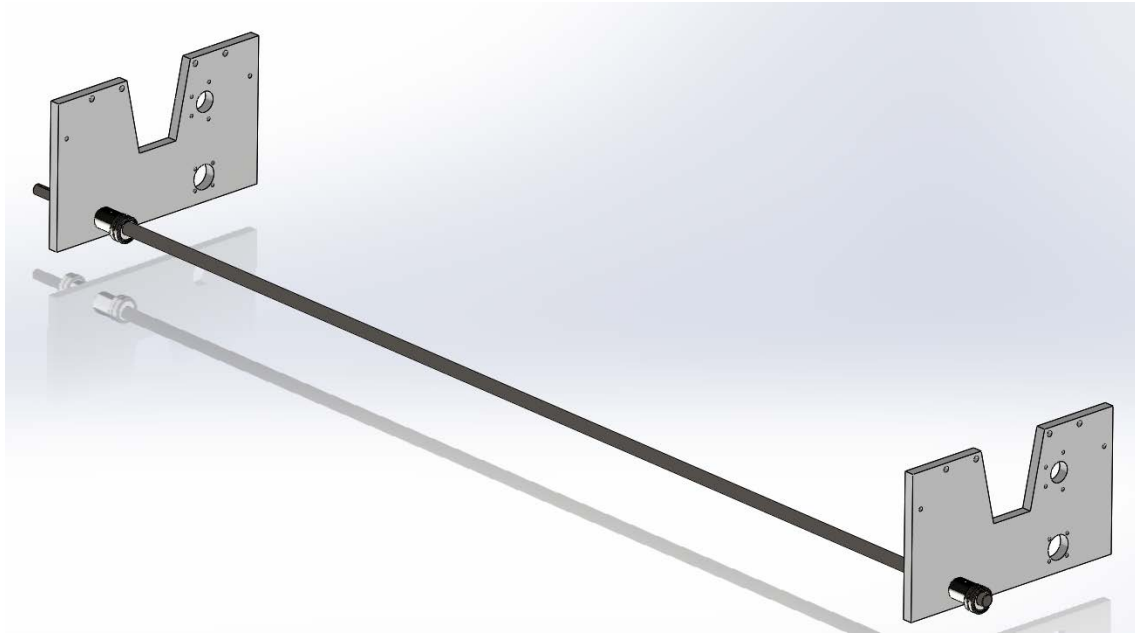


FIGURA 3.2.3.2.1. Vista completa modelo simplificado

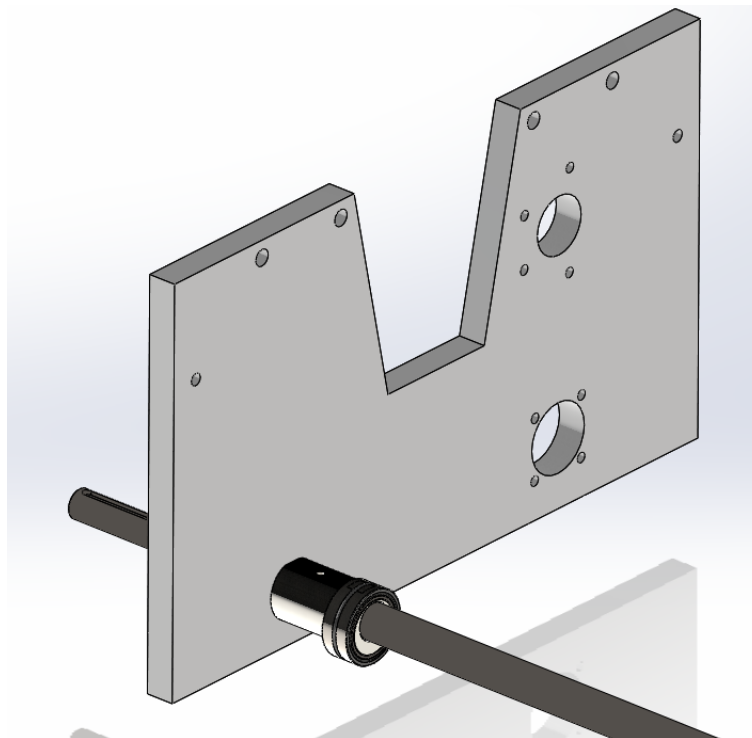


FIGURA 3.2.3.2.2. Piezas lado interior

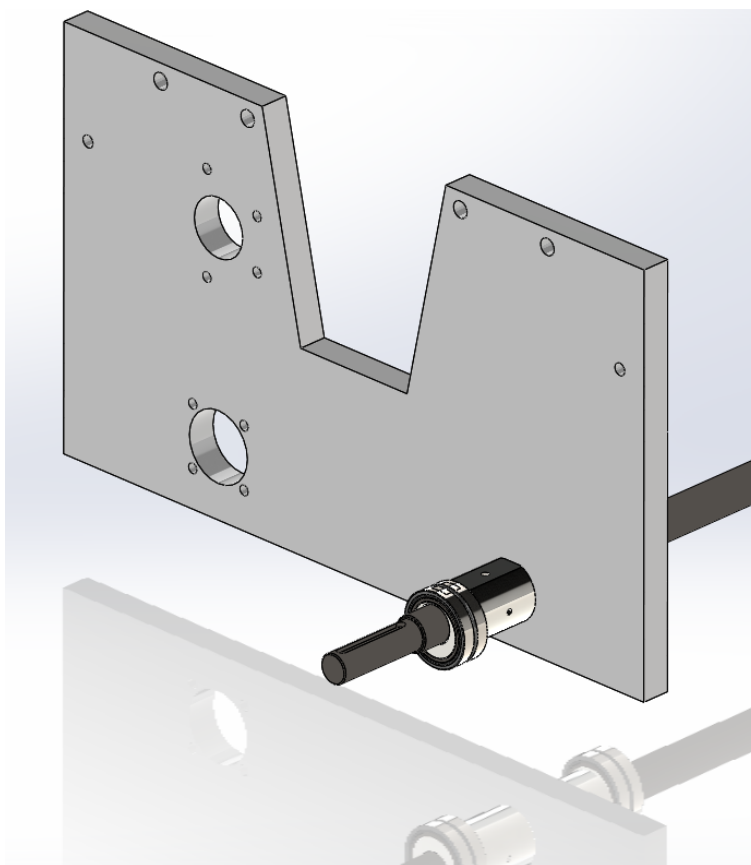


FIGURA 3.2.3.2.3. Piezas lado exterior

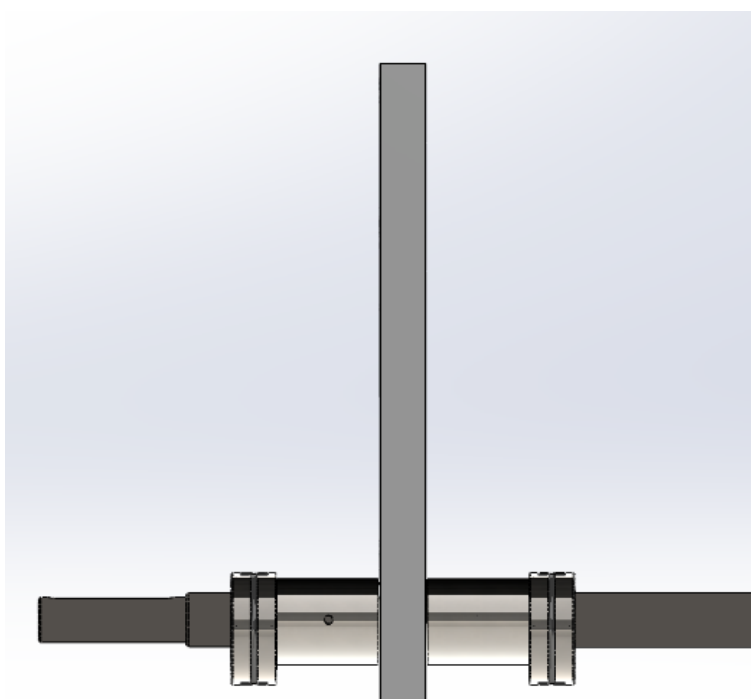


FIGURA 3.2.3.2.4. Frontal lado motor

3.2.4 MATERIALES EMPLEADOS

Los materiales utilizados por el fabricante de la maquina han sido seleccionados según el plano de fabricación y del material de disposición en la casa de materiales donde se compra todo el material, se sabe que el fabricante utiliza los equivalentes de comercio disponible en el mercado.

En la fase de investigación de los materiales se ha podido definir que los materiales empleados son.

3.2.4.1 CHAPA DE ACERO AL CARBONO F-1110

Acero para piezas de máquinas con límite elástico entre 25/40 kg/mm² en bruto. Admite muy bien la soldadura debido a su bajo contenido en carbono y embutición o plegado.

Se puede usar como acero de cementación, para elementos de maquinaria poco cargados que deben poseer una buena tenacidad. Piezas de baja resistencia que se hayan de obtener por deformación en frío: clavos, tornillos, herrajes, etc. Es soldable en cualquier espesor.

3.2.4.1.1 COMPOSICIÓN QUÍMICA

TABLA 3.2.4.1.1. Composición química F-1110

	C	MN	Si	P≤	S≤
min	0,1	0,3	0,15	0,035	0,035
max	0,2	0,6	0,4		

3.2.4.1.2 EQUIVALENCIAS APROXIMADAS

TABLA 3.2.4.1.2. Equivalencias aproximadas F-1110

UNE	W-Nr	DIN	AFNOR	AISI	EN-10083
F-1110	1,1141	CK-15	XC-18	1015	NO TIENE

3.2.4.1.3 CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS APROXIMADAS

Existe diversa información sobre las propiedades mecánicas, pero para efectos de este estudio vamos a utilizar solo las que nos sirven para la simulación.

TABLA 3.2.4.1.3. Propiedades mecánicas F-1110

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo Elástico	205000	Mpa
Coeficiente de Poisson	0,29	
Límite de tracción	385	Mpa
Límite Elástico	325	Mpa
Coeficiente de expansión térmica	1,2x10 ⁻⁵	1/K
densidad de masa	7870	Kg/m ³
Factor de endurecimiento	0,85	

3.2.4.1.4 PIEZAS DEL MECANISMO EXCENTRICO FABRFICADOS CON ESTE MATERIAL

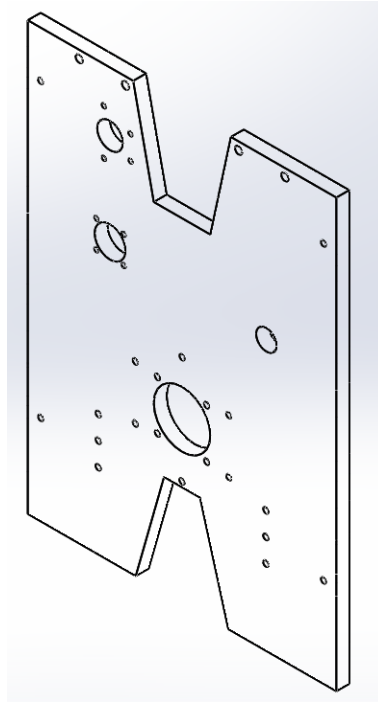


FIGURA 3.2.4.1.4.1. Bancada_APC_2550

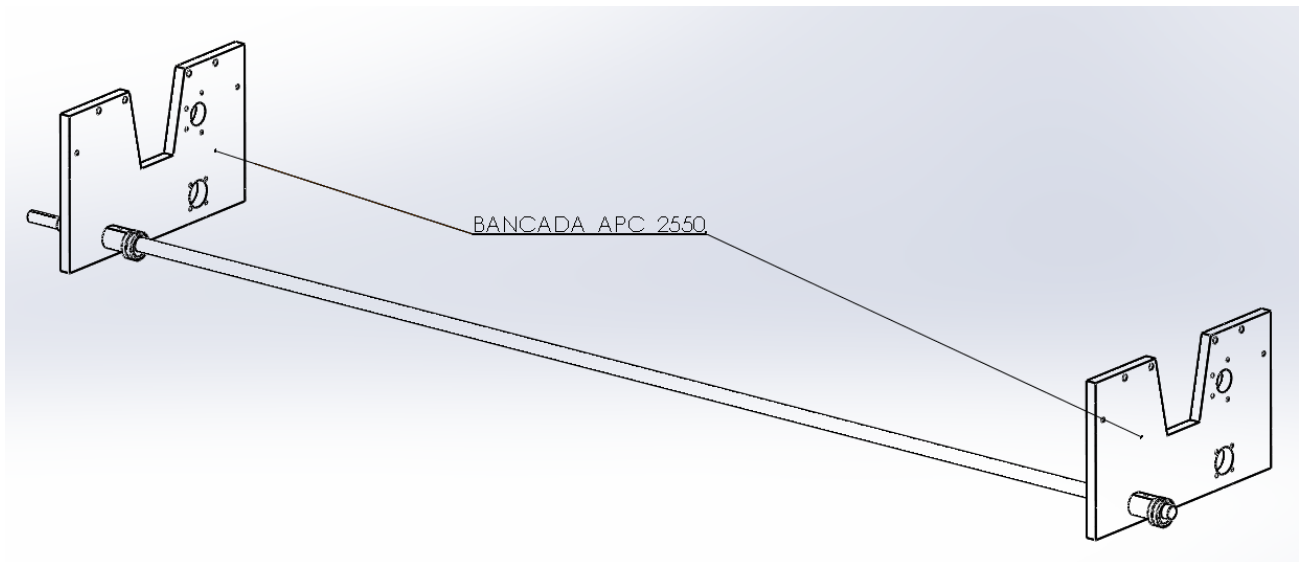


FIGURA 3.2.4.1.4.2. Ubicación de piezas en ensamblaje

3.2.4.2 ACERO ESTIRADO EN FRÍO F-1140

Acero de construcción al carbono ideal para fabricación de piezas de maquinaria con resistencia de 70/90 kg/mm².

Piezas para maquinaria que han de tener buena resistencia media. Piezas de mecanizado en general sometidas a esfuerzos medios como piezas estampadas, palancas ejes arandelas de regulación, bielas, discos de embrague, coronas de arranque, etc

También se aplica en piezas de forja que posteriormente se mecanizan y no están sometidas a esfuerzos directos, fatigas, desgastes, etc.

No tienen buenas condiciones de soldabilidad.

Puede ser sometido a temple y revenido. En el tratamiento por temple por inducción se alcanzan durezas superficiales de 55-61 HRC, capaces de soportar desgastes localizados.

3.2.4.2.1 COMPOSICIÓN QUÍMICA

TABLA 3.2.4.2.1. Composición química acero F-1140

	C	MN	Si	P≤	S≤
min	0,4	0,5	0,15	0,035	0,035
max	0,5	0,8	0,4		

3.2.4.2.2 EQUIVALENCIAS APROXIMADAS

TABLA 3.2.4.2.2 Equivalencias aproximadas acero F-1140

UNE	W-Nr	DIN	AFNOR	AISI	EN-10083
F-1140	1,1191	CK-45	XC-45	1045	C45E

3.2.4.2.3 PROPIEDADES MECANICAS

Existen varia información sobre las propiedades mecánicas, pero para efectos de este estudio vamos a utilizar solo las que nos sirven para la simulación.

TABLA 3.2.4.2.3. Propiedades mecánicas acero F-1140

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo Elástico	205000	Mpa
Coefficiente de Poisson	0,29	
Límite de tracción	625	Mpa
Límite Elástico	530	Mpa
Coefficiente de expansión térmica	1,15x10 ⁻⁵	1/K
densidad de masa	7850	Kg/m ³

3.2.4.2.4 PIEZAS DEL MECANISMO EXCENTRICO FABRICADAS CON ACERO F-1140

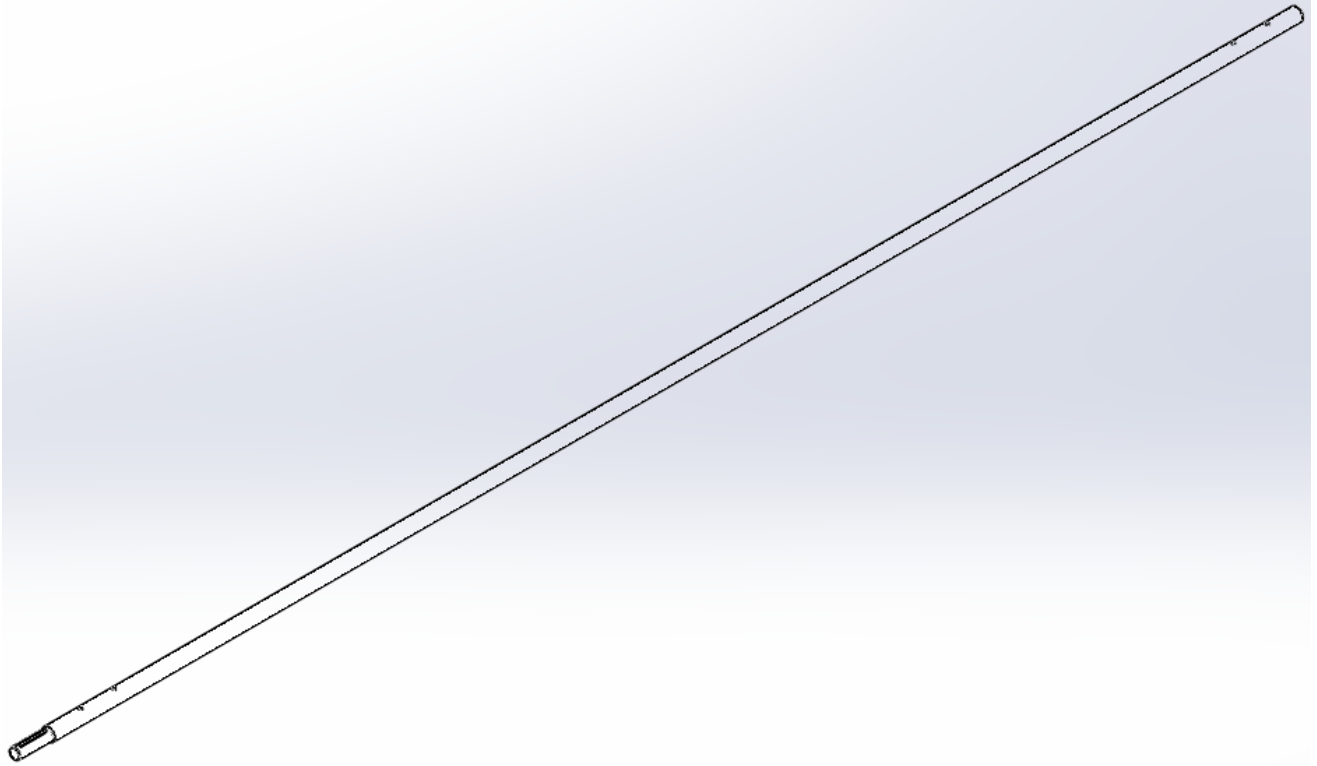


FIGURA 3.2.4.2.4.1. Eje excéntrica

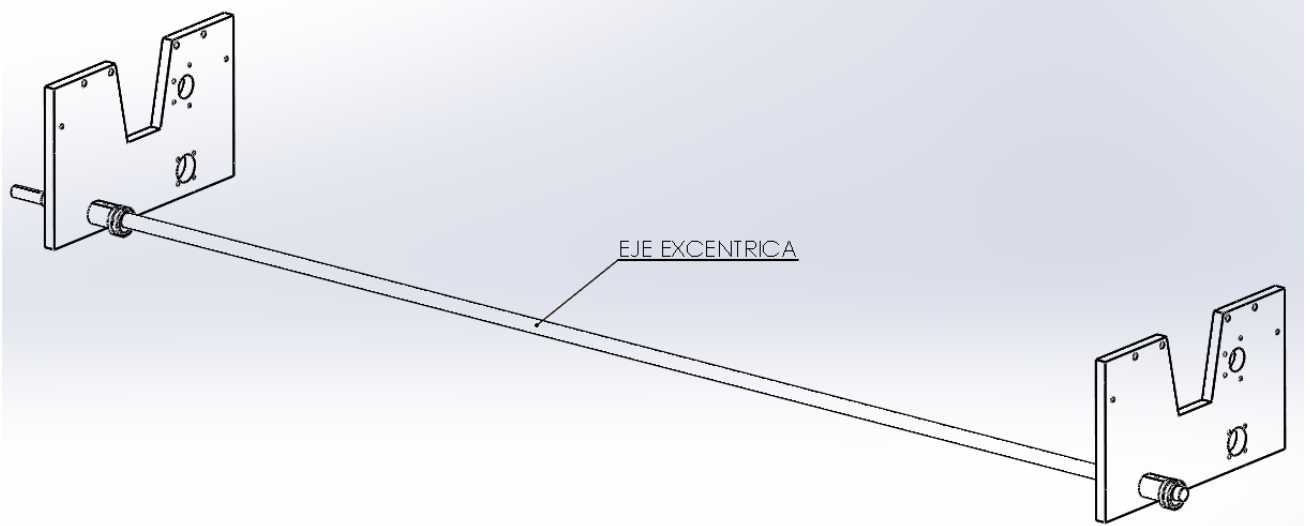


FIGURA 3.2.4.2.4.2. Ubicación de pieza en ensamblaje

3.2.4.3 BRONCE AL MANGANESO

El bronce al manganeso (latón amarillo de alta resistencia) combina la alta resistencia a la tracción y límite elástico elevado con relativamente buena resistencia a la corrosión. Este grupo de aleaciones está constituido básicamente de cobre y Zinc al cual se le añade aluminio que es principal fortalecedor, además de manganeso y hierro quienes actúan como refinadores de grano; el estaño y el níquel se agregan principalmente para aumentar la resistencia a la corrosión: a veces se agrega plomo para mejorar su mecanizado.

Sus usos principales son bujes y piezas para cilindros hidráulicos, placas de deslizamiento para palas mecánicas, excavadoras, dragas, cargadores frontales, scooptram, motoniveladoras.

3.2.4.3.1 COMPOSICIÓN QUÍMICA

TABLA 3.2.4.3.1. Composición química bronce al manganeso

	Cu	Mn	Sn≤	Fe	Zn	Al	Ni≤	Pb≤
min	0,6	0,025		0,02	0,22	0,03		
max	0,66	0,05	0,002	0,04	0,28	0,049	0,01	0,002

3.2.4.3.2 EQUIVALENCIAS APROXIMADAS

TABLA 3.2.4.3.2. Equivalencias aproximadas bronce al manganeso

VM	SAE	UNS	DIN	ERO NOR
862	430 A	C 86200	1709	CuZn23Al4

3.2.4.3.3 PROPIEDADES MECÁNICAS

TABLA 3.2.4.3.3. Propiedades mecánicas bronce al manganeso

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo Elástico	110000	Mpa
Coeficiente de Poisson	0,37	
Límite de tracción	448,08	Mpa
Límite Elástico	206,807	Mpa
Coeficiente de expansión térmica	$2,2 \times 10^{-5}$	1/K
densidad de masa	8300	Kg/m ³

3.2.4.3.4 PIEZA FABRICADA CON BRONCE MANGANESO

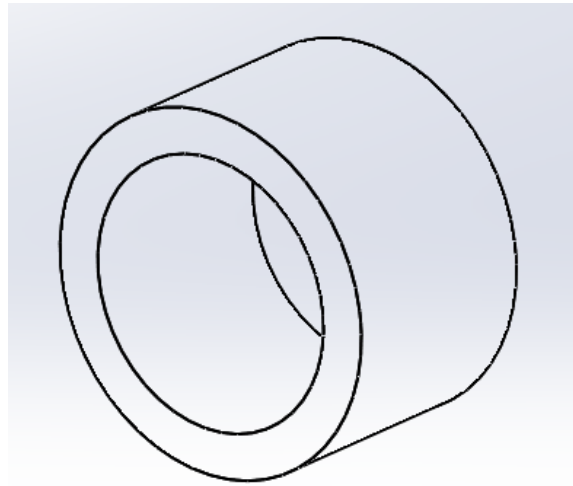


FIGURA 3.2.4.3.4.1. Casquillo de bronce

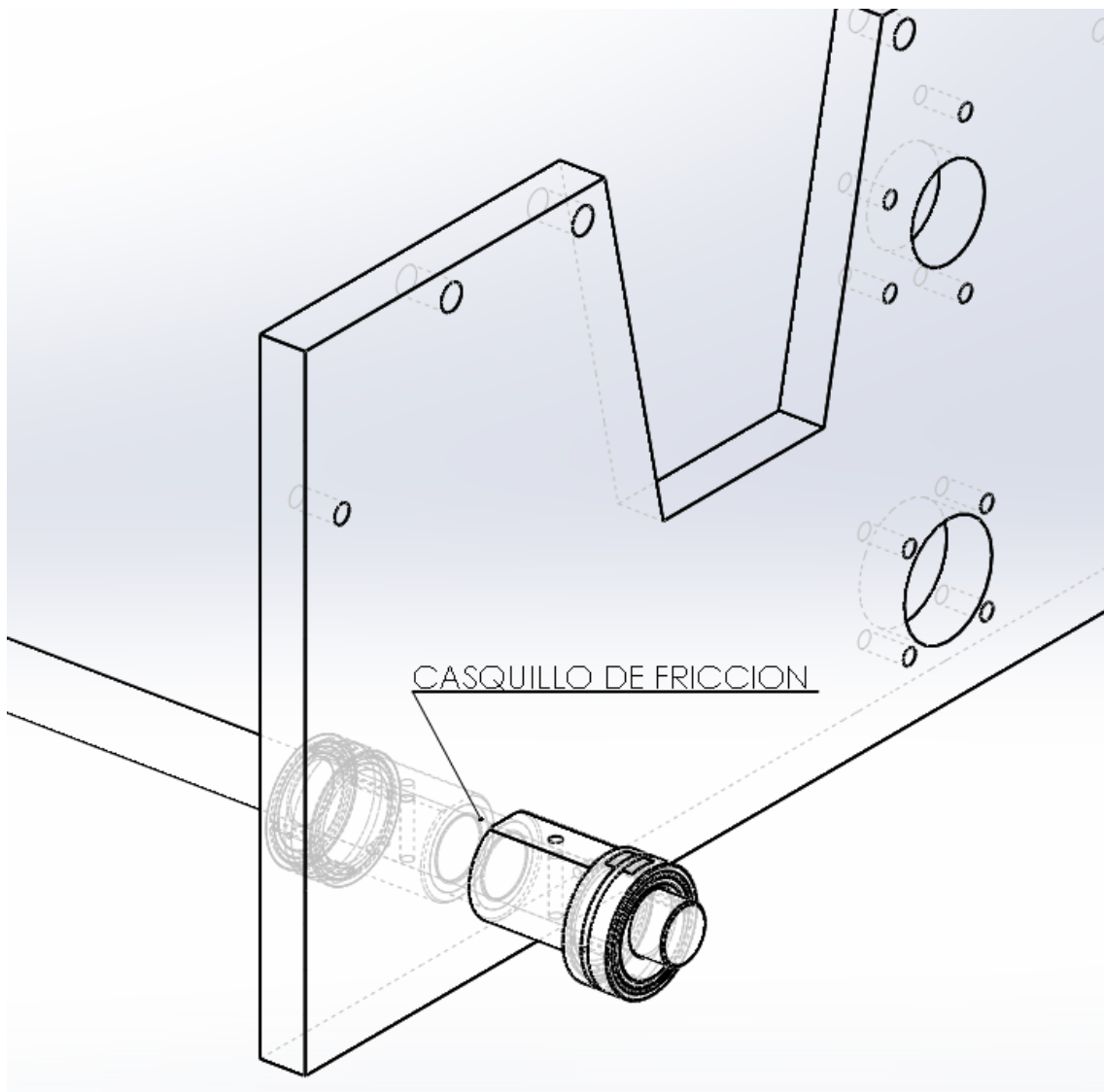


FIGURA 3.2.4.3.4.2. Ubicación de pieza en ensamblaje

3.2.4.4 ACERO AL CARBONO ST-52.3

Buenas condiciones de soldabilidad, plegado y deformación en frío.

No admite temple. Buena resistencia al impacto a baja temperatura previo tratamiento de normalizado.

Tiene aplicaciones en elementos mecánicos de responsabilidad media. No tiene valores altos de resistencia, pero si buena tenacidad.

Es un acero de uso en estructuras metálicas de responsabilidad y piezas mecánicas tales como bulones, elementos de fijación, arandelas, herrajes, etc.

3.2.4.4.1 COMPOSICIÓN QUÍMICA

TABLA 3.2.4.4.1. Composición química de ST-52.3

	C	Mn	Si	P≤	S≤
min					
max	0,22	1,6	0,55	0,04	0,04

3.2.4.4.2 EQUIVALENCIAS APROXIMADAS

TABLA 3.2.4.4.2. Equivalencias aproximadas ST-52.3

EN 10025-S	EN 10025-N	DIN	AFNOR	AISI
S355J2	1,0577	ST-52,3	E 36-3	1024

3.2.4.4.3 PROPIEDADES MECÁNICAS

TABLA 3.2.4.4.3. Propiedades mecánicas ST-52.3

Propiedad	Valor	Unidades
Modulo Elástico	210000	Mpa
Coeficiente de Poisson	0,28	
Límite de tracción	450	Mpa
Límite Elástico	275	Mpa
Coeficiente de expansión térmica	$1,11 \times 10^{-5}$	1/K
densidad de masa	7800	Kg/m ³

3.2.4.4.4 PIEZAS FABRICADAS CON ACERO ST-52.3

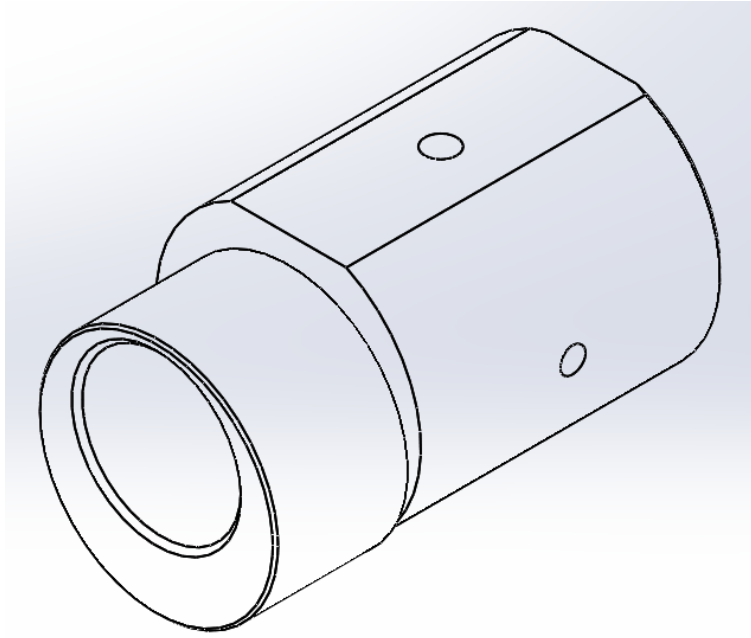


FIGURA 3.2.4.4.1. Excéntrica

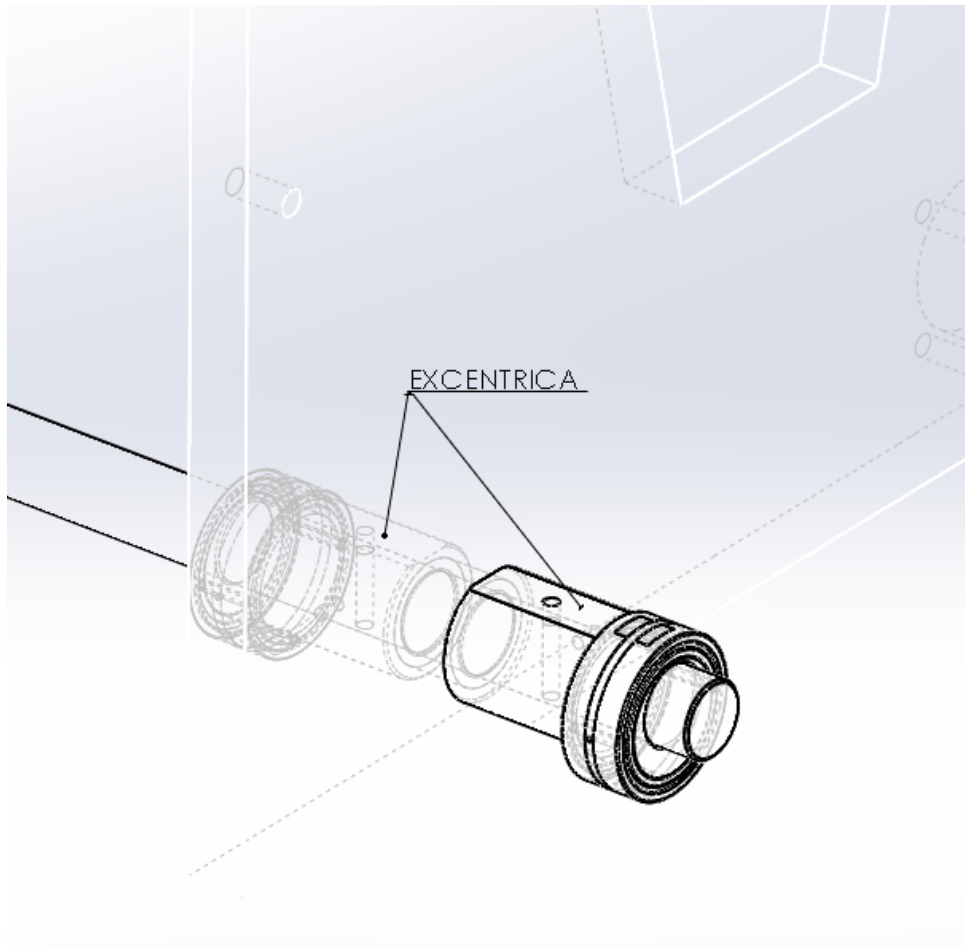


FIGURA 3.2.4.4.2. Ubicación de pieza en ensamble

3.2.5 SIMULACIÓN

3.2.5.1 MODELO IMPORTADO

Se procede a la integración del modelo en el software de simulación, para esta ocasión se ha importado desde Solidworks un modelo simplificado del mecanismo excéntrico, con la finalidad de puntualizar el análisis en la pieza que se cree puede tener repercusión en el funcionamiento del mecanismo como es el eje que barra excéntrica.

Se llevado también al simulador las piezas que están relacionadas directamente por contacto con la barra, en donde nos proponemos encontrar el punto o los puntos de máxima tensión cuando la barra trabaja en conjunto con estas piezas ya que en conjunto soportan los esfuerzos a los que están sometidos.

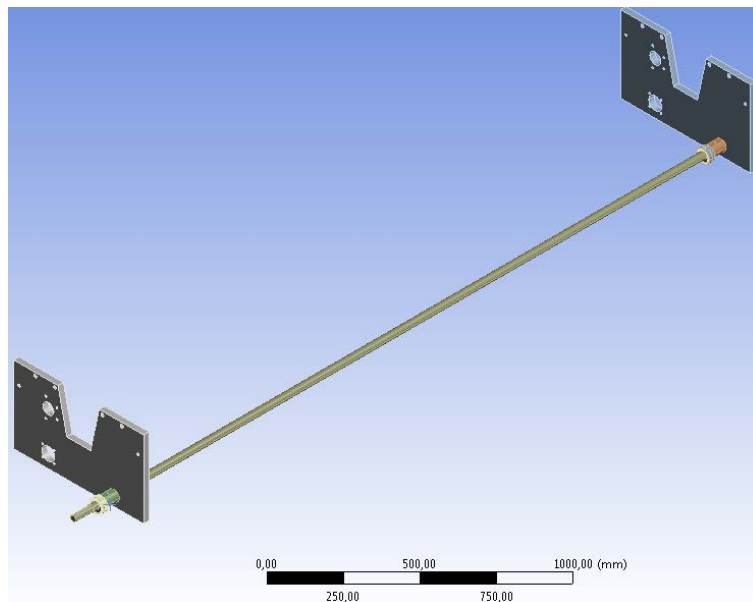


FIGURA 3.2.5.1.1 Modelo mecanismo excéntrico en Ansys

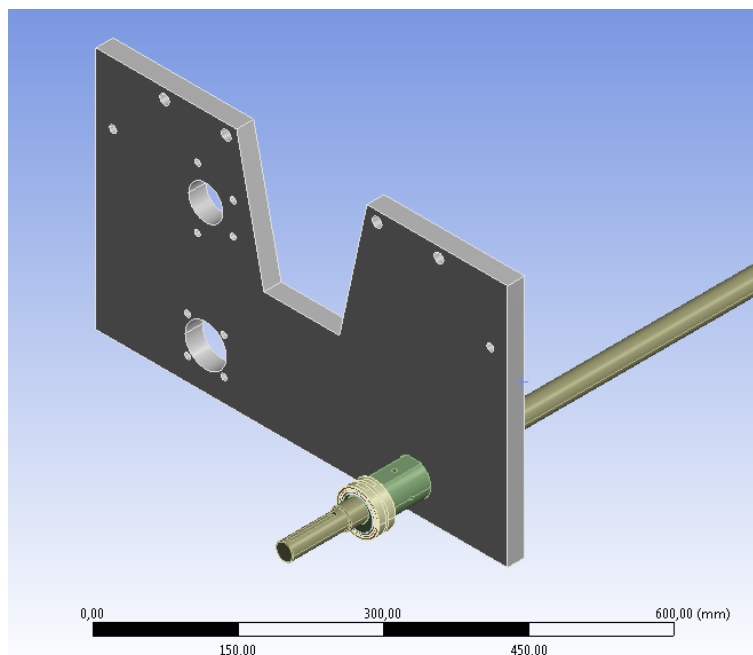


FIGURA 3.2.5.1.2. Modelo mecanismo excéntrico lado motor

3.2.5.2 MALLADO DE MODELO MECANISMO EXCENTRICO

Se procede a mallar el modelo utilizando el mallado por defecto, en primera instancia se consigue un mallado regular, pero no se consigue la uniformidad requerida.

Utilizando la herramienta Hex Dominant Method para mallar la barra excéntrica por separado, consiguiendo la uniformidad requerida en el elemento.

Se obtienen elementos de mallado como tetraedros de 10 nodos, hexaedros de 20 nodos, y cuñas de 15 nodos, y pirámides de 130 nodos. En todos ellos se consigue una calidad media del 0.6, se considera aceptable ya que en la calidad del elemento mallado califica en el intervalo (0 a 1).

- Numero de nodos: 338625
- Número de elementos: 102701
- Elemento finito dominante: Hexaedro de 20 nodos

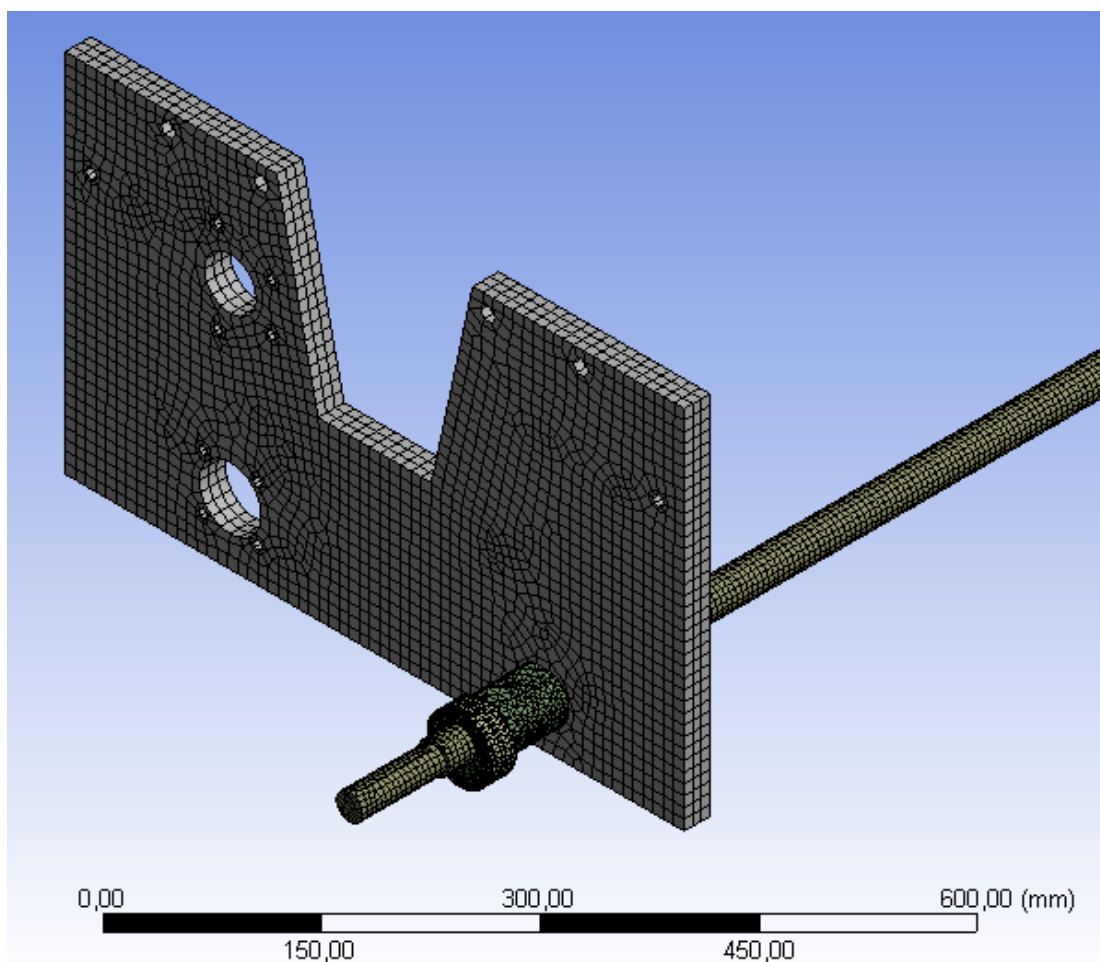


FIGURA 3.2.5.2. Mallado de modelo mecanismo excéntrico

3.2.5.3 CONDICIONES DE CONTORNO APLICADOS

Se aplica las condiciones de contorno que nos den las circunstancias más próximas a la realidad a la que el mecanismo estará sometido.

Empezamos con la gravedad y las fijaciones para sujetar el mecanismo.

3.2.5.3.1 GRAVEDAD Y FIJACIONES DE BANCADA

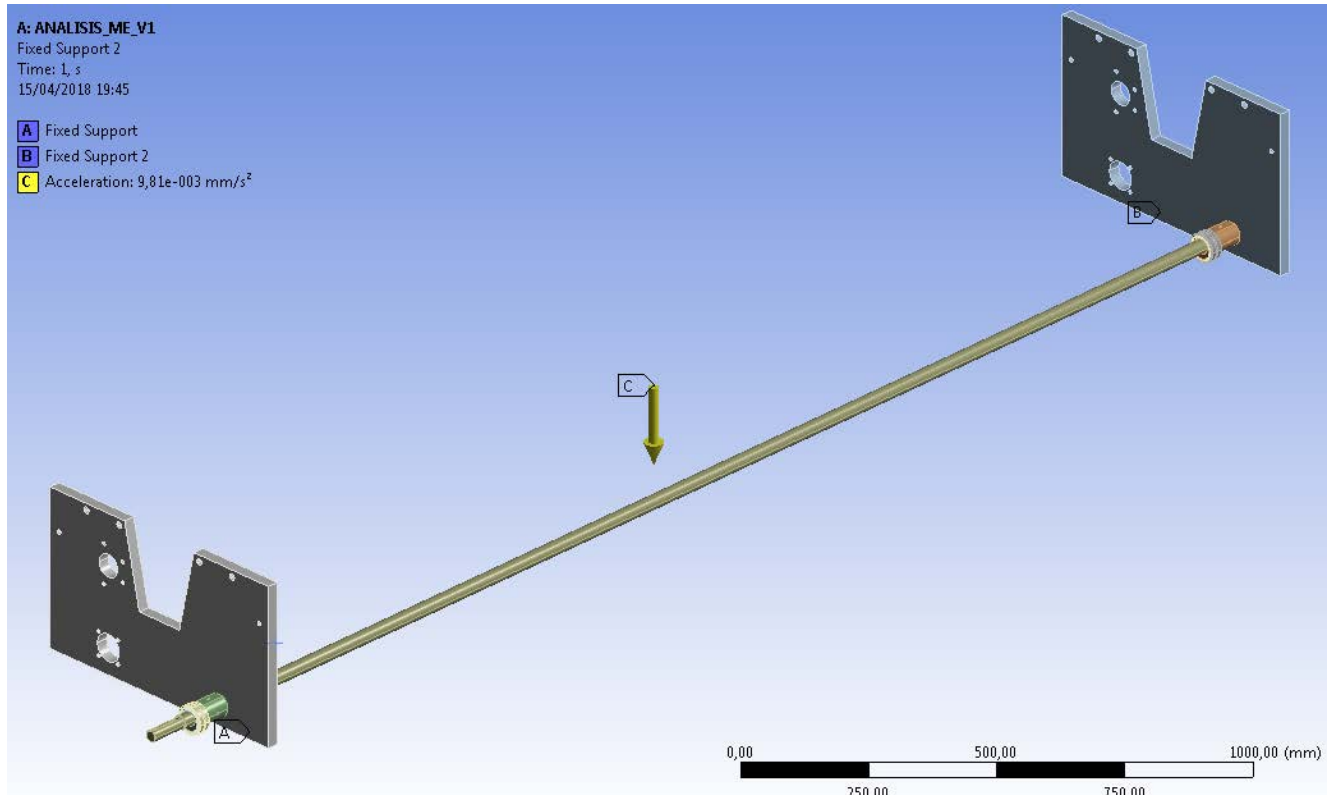


FIGURA 3.2.5.3.1. Gravedad y fijaciones de bancada

3.2.5.3.2 FUERZAS VERTICALES SOBRE LA BARRA

Este caso las fuerzas ejercidas en la barra vienen determinadas por los pesos que soportan los rodillos de trabajo que son los elementos que el mecanismo intentará darle el movimiento para la regulación de la aplicación de parafina.

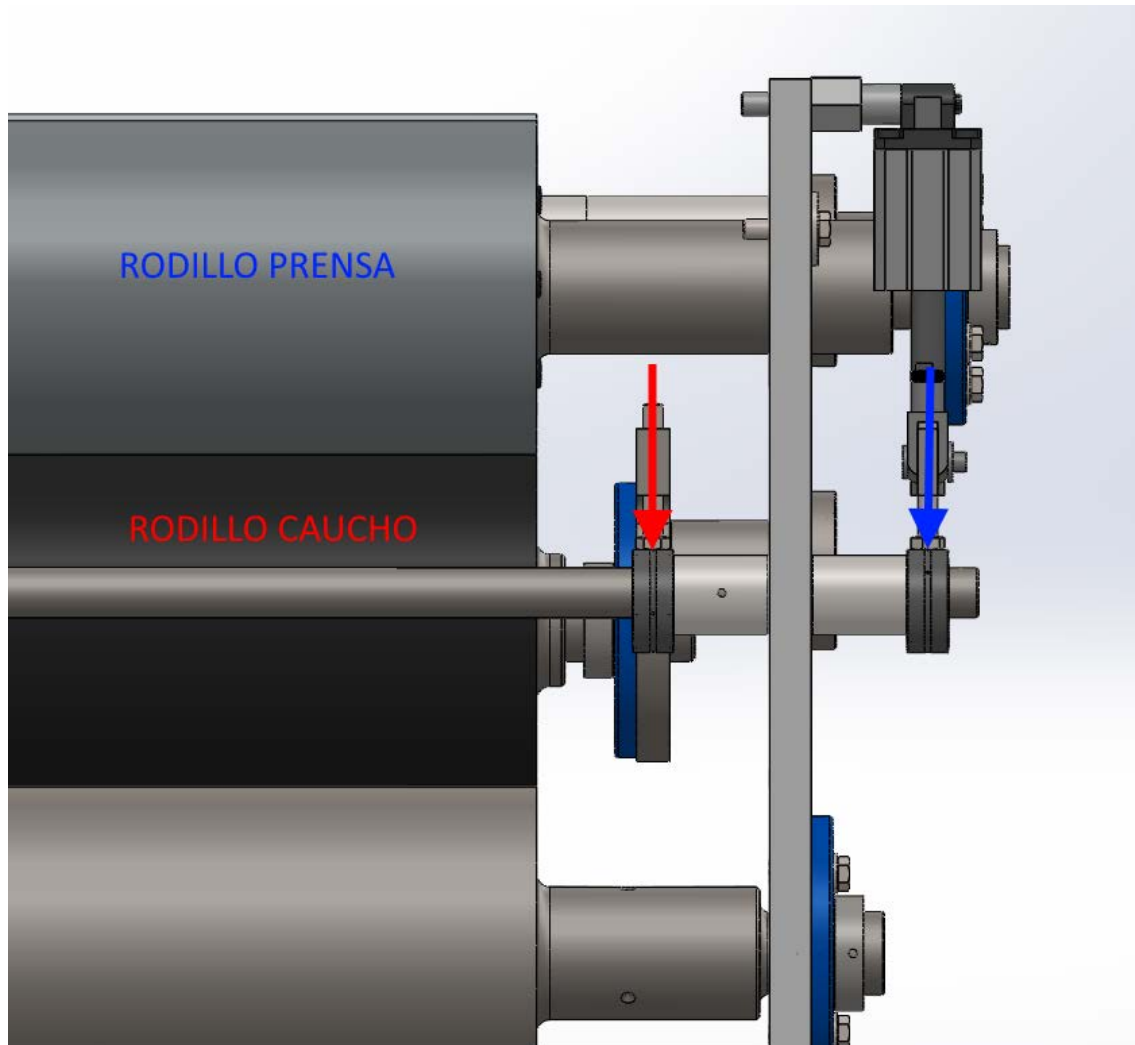


FIGURA 3.2.5.3.2.1. Fuerzas sobre la barra

Estas fuerzas las obtenemos analíticamente utilizando el diagrama de sólido libre y los pesos aproximados de los rodillos facilitados por el Solidworks, se puede idealizar un sistema equilibrado de fuerzas para poder encontrar las fuerzas a la que la barra excéntrica y las piezas colindantes estarán sometidas.

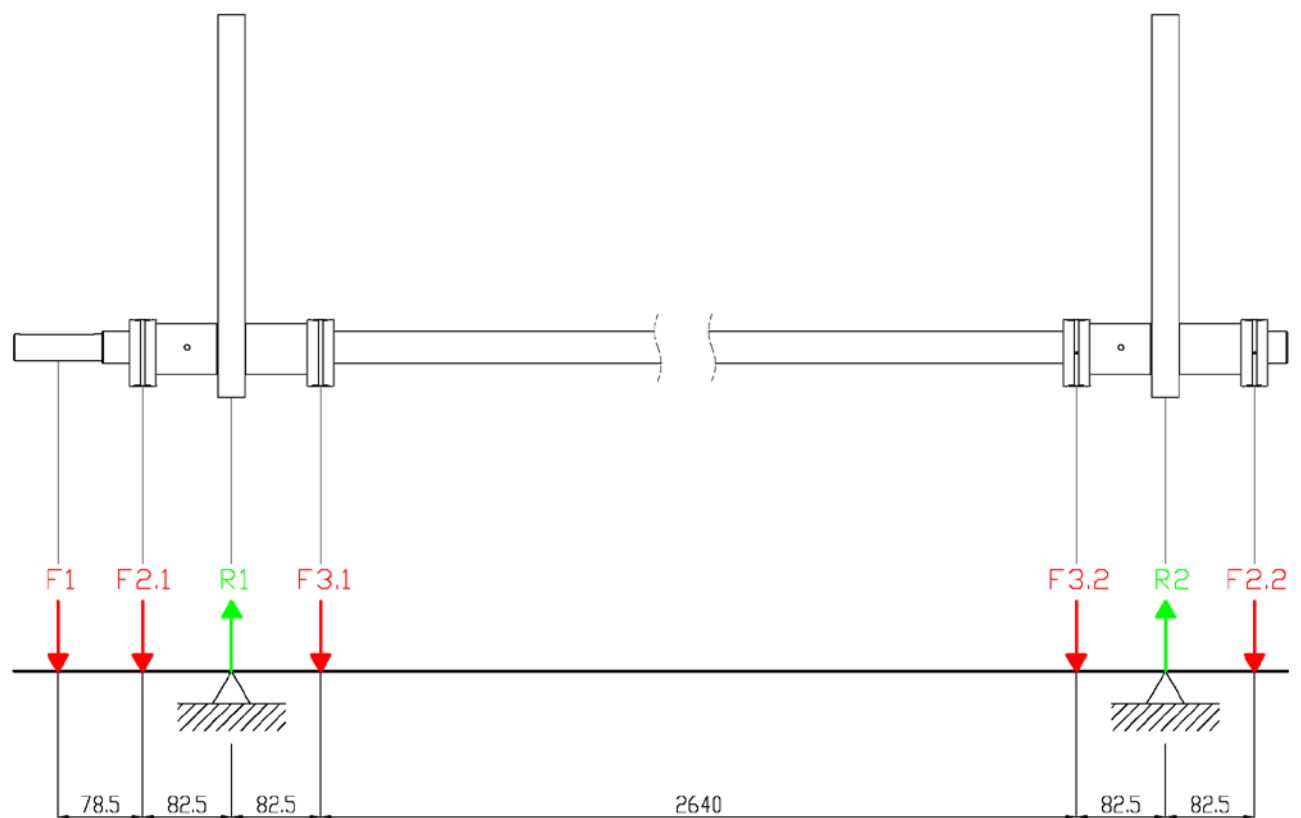


FIGURA 3.2.5.3.2.2. Esquema frontal de fuerzas ejercidas en la barra

El esquema de la figura 3.2.5.2.2.2. muestra los siguientes datos:

- $F1$ = fuerza ejercida por el reductor de corona, reductor de posicionamiento de la barra.
- $F2.1$ y $F2.2$ = Fuerzas ejercidas por el rodillo prensa.
- $F3.1$ y $F3.2$ = Fuerzas Ejercidas por el rodillo de caucho.
- $R1$ y $R2$ = Reacciones producidas por la bancada de la máquina.

3.2.5.3.2.1 DETERMINACION DE FUERZAS EJERCIDAS POR EL RODILLO PRENSA

Las fuerzas (F2.1 y F2.2) representan las fuerzas ejercidas por el peso del rodillo prensa, este peso se reparte entre los dos apoyos que señalan las fuerzas anteriormente mencionadas. Los datos de entrada para el cálculo son:

- $M_{\text{rodillo prensa}} = 257.82 \text{ kg}$
- $\text{Gravedad} = 9.81 \text{ m/s}^2$
- $Prp = M_{\text{rodillo prensa}} * \text{Gravedad} = 257.82 * 9.81 = 25292.21 \text{ N}$

$$Prp = 2529.21 \text{ N}$$

El peso es repartido entre los dos apoyos, por lo tanto.

$$Prp_1 = 1264.6 \text{ N}$$

$$Prp_2 = 1264.6 \text{ N}$$

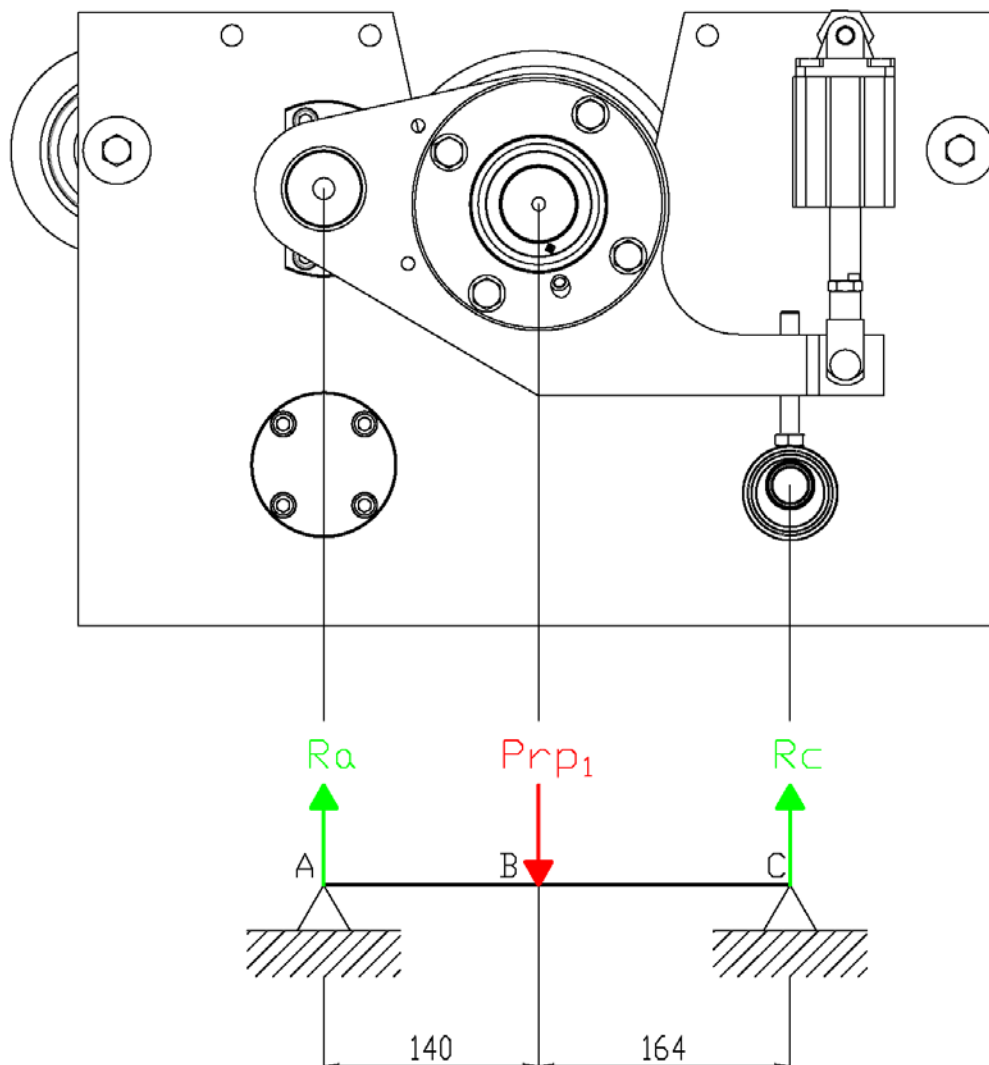


FIGURA 3.2.5.3.2.1.1. Esquema simple fuerzas rodillo prensa

- $\Sigma F_V = 0$

$$Prp_1 = R_A + R_C$$

- $\Sigma M_C = 0$

$$Prp_1 * 0.164 = R_A * (0.164 + 0.140)$$

$$R_A = \frac{1264.6 * 0.164}{(0.164 + 0.140)} = 682.21 \text{ N}$$

- $R_C = Prp_1 - R_A$

$$R_C = 1264.6 - 682.21$$

$R_C = 582.39 \text{ N}$

Podemos usar este valor para representar la fuerza F2.1 y F2.2 en el esquema frontal, este dato lo usaremos en el simulador para representar la carga del rodillo prensa.

3.2.5.3.2.2 DETERMINACION DE FUERZAS EJERCIDAS POR EL RODILLO CAUCHO

Las fuerzas (F3.1 y F3.2) representan las fuerzas ejercidas por el peso del rodillo de caucho, este peso se reparte entre los dos apoyos que señalan las fuerzas anteriormente mencionadas. Los datos de entrada para el cálculo son:

- $M_{\text{rodillo caucho}} = 222.6 \text{ kg}$
- $Gravedad = 9.81 \text{ m/s}^2$
- $Prc = M_{\text{rodillo prensa}} * Gravedad = 222.6 * 9.81 = 2183.70 \text{ N}$

$$Prc = 2183.70 \text{ N}$$

El peso es repartido entre los dos apoyos, por lo tanto.

$$Prc_1 = 1091.85 \text{ N}$$

$$Prc_2 = 1091.85 \text{ N}$$

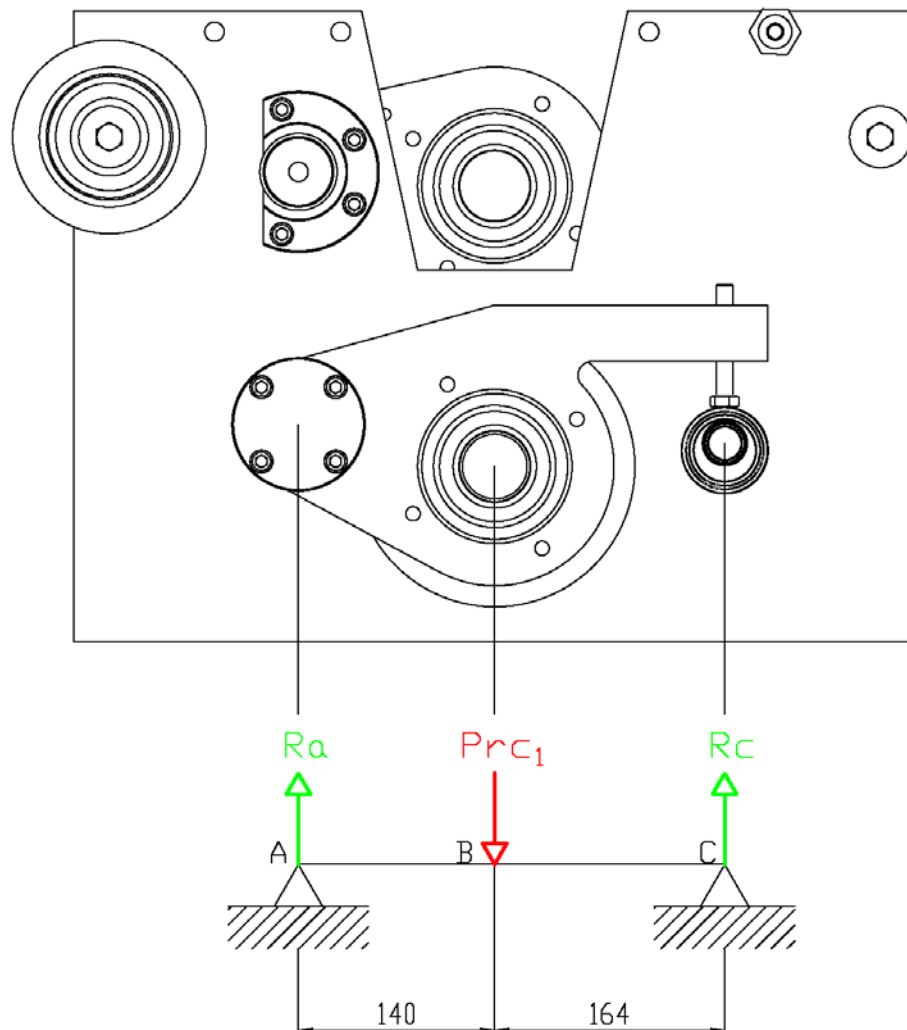


FIGURA 3.2.5.3.2.2.1. Esquema simple fuerzas rodillo caucho

- $\Sigma F_V = 0$

$$Prp_1 = R_A + R_C$$

- $\Sigma M_C = 0$

$$Prp_1 * 0.164 = R_A * (0.164 + 0.140)$$

$$R_A = \frac{1091.85 * 0.164}{(0.164 + 0.140)} = 589.02 \text{ N}$$

- $R_C = Prp_1 - R_A$

$$R_C = 1091.85 - 589.02$$

$$R_C = 502.83 \text{ N}$$

Podemos usar este valor para representar la fuerza F3.1 y F3.2 en el esquema frontal, este dato lo usaremos en el simulador para representar la carga del rodillo de caucho.

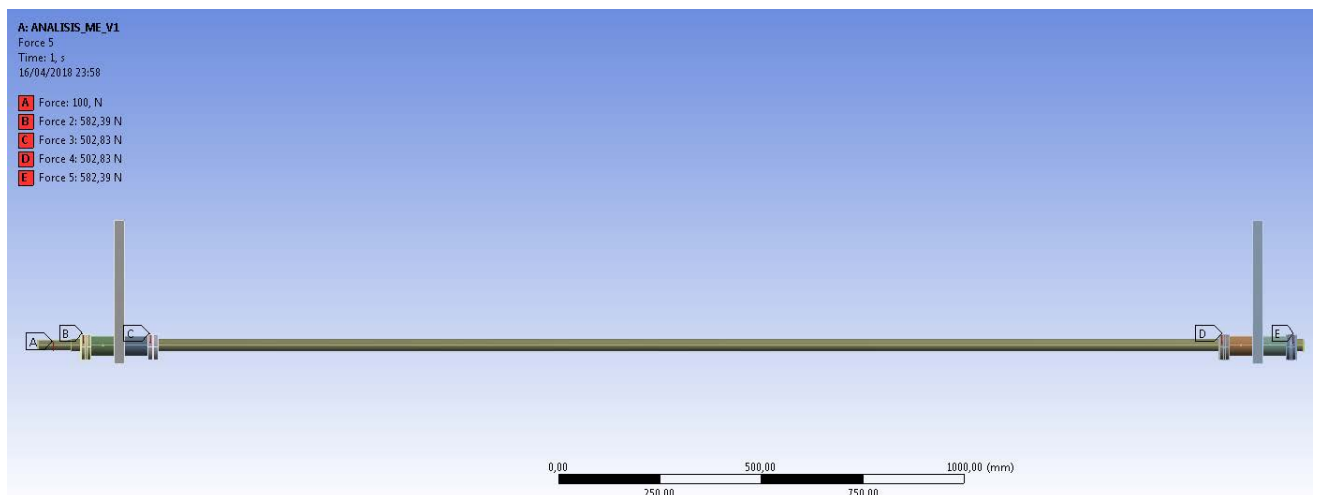


FIGURA 3.2.5.3.2.2.2. Aplicación de fuerzas en simulador

3.2.5.4 CALCULOS ANALÍTICOS PREVIOS

Realizamos cálculos analíticos para tener una referencia al recoger los resultados del simulador, con el objetivo de encontrar una coherencia entre el cálculo analítico y el modelo FEM.

Sobre todo, podemos tomar como modelo los cálculos en los puntos de máxima tensión para realizar la comparativa.

En este caso se opta por realizar un cálculo de orden estático estructural, ya que, aunque la barra tenga un movimiento giratorio, solo se mueve en la fase de regulación de parámetros de aplicación, quedando estático en todo el proceso de trabajo de la máquina, por lo tanto, podemos considerar para este análisis como un elemento estático para poder idealizar el estudio de la pieza.

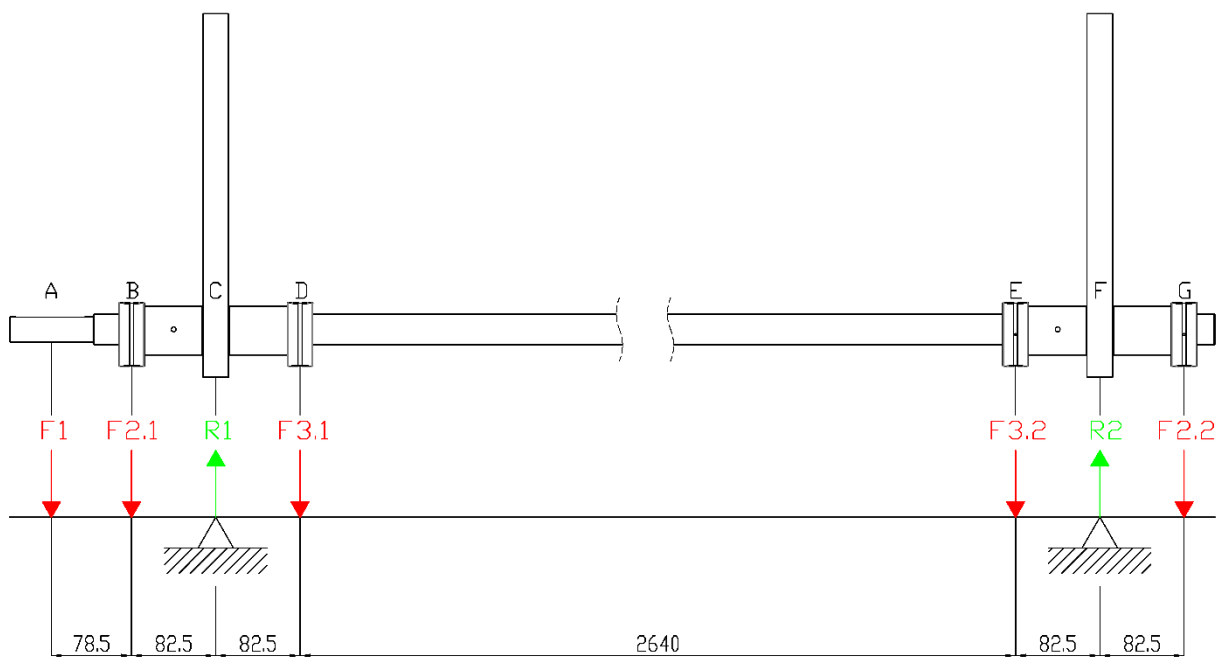


FIGURA 3.2.5.4.1. Esquema simplificado mecanismo excéntrico

DATOS OBTENIDOS

- $F_1 = 98.1 \text{ N}$
- $F_{2.1} = F_{2.2} = 582.39 \text{ N}$
- $F_{3.1} = F_{3.2} = 502.83 \text{ N}$
- $R_1 = \text{por determinar}$
- $R_2 = \text{por determinar}$

- $\Sigma F_V = 0$

$$F_1 + F_{2.1} + F_{3.1} + F_{3.2} + F_{2.2} = R_1 + R_2$$

$$98.1 + 582.39 + 502.83 + 502.83 + 582.39 = R_1 + R_2$$

$$2268.54 = R_1 + R_2$$

- $\Sigma M_C = 0$

$$\begin{aligned} F_1 * (0.0785 + 0.0825) + F_{2.1} * (0.0825) + R_2 * (0.0825 + 2.64 + 0.0825) \\ = F_{3.1} * (0.0825) + F_{3.2} * (2.64 + 0.0825) + F_{2.2} * (0.0825 + 0.0825 + 2.64 \\ + 0.0825) \end{aligned}$$

$$15.79 + 48.04 + R_2 * (2.805) = 41.48 + 1368.95 + 1681.65$$

$$63.83 + R_2 * (2.805) = 3092.08$$

$$R_2 * (4.29) = 3092.08 - 63.83$$

$$R_2 = \frac{3028.25}{2.805} = 1079.59$$

$$R_2 = 1079.59 \text{ N}$$

- $2268.54 = R_1 + R_2$

$$R_1 = 2268.54 - 1079.59 = 1188.94$$

$$R_1 = 1188.94 \text{ N}$$

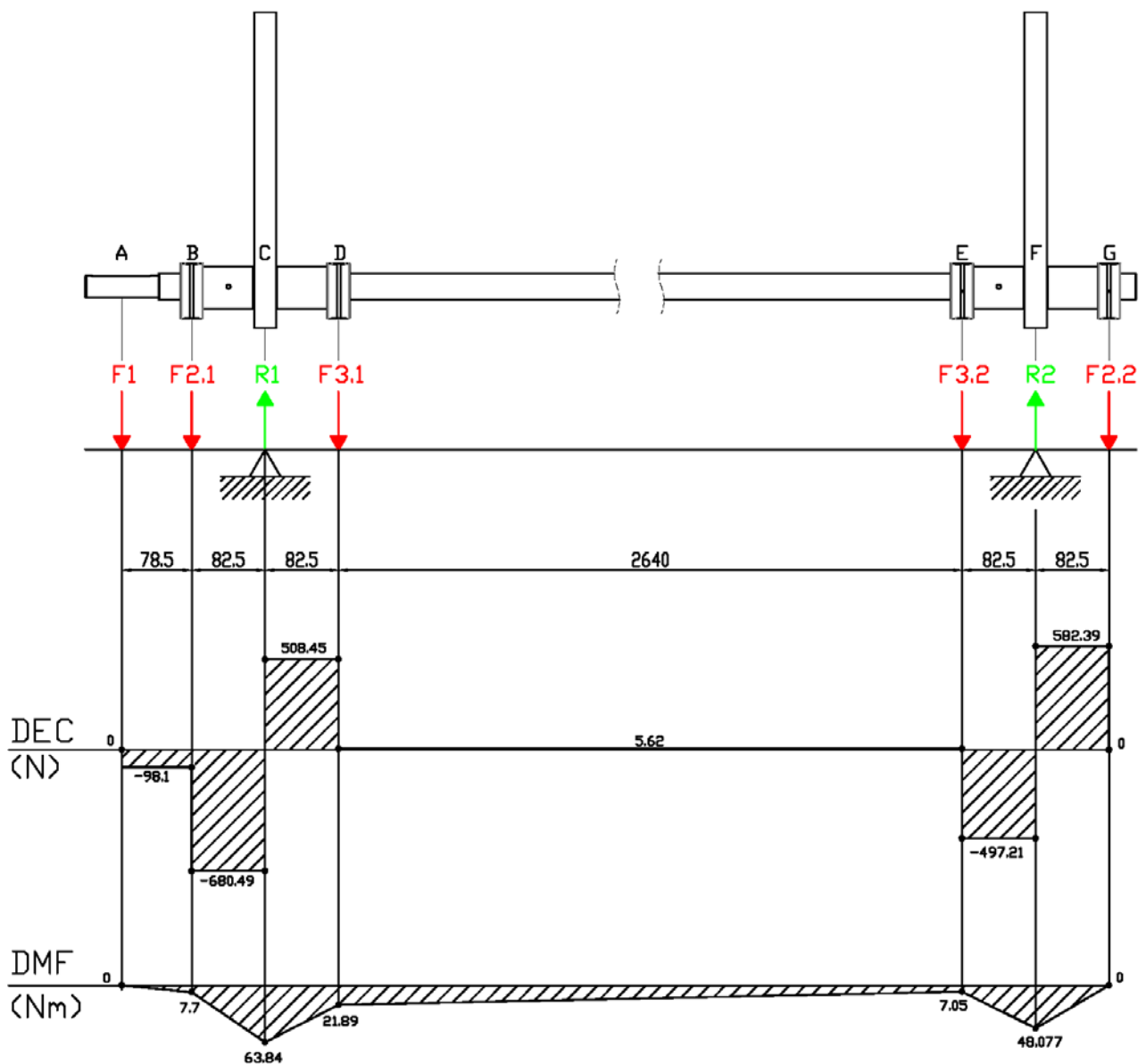


FIGURA 3.2.5.4.2. Diagrama de cortantes y flectores en el eje excéntrico

Los valores de los momentos flectores del diagrama se obtienen usando el método de las áreas, que consiste en calcular las áreas de las geometrías que va dejando el diagrama de cortantes entre sección y sección, con estos valores se van encontrando los momentos flectores en cada sección sumando en este caso de izquierda a derecha los resultados de las áreas, hasta llegar al final del diagrama en valor cero, corroborando el equilibrio del sistema.

Después de realizar el cálculo ubicamos el momento flector máximo en la sección "C" con un valor de 63,84 Nm.

3.2.5.4.1 CONVERSION DE ESFUERZOS A ESTADOS TENSIONALES

SECCIÓN A

$$\phi_A = 25 \text{ mm}$$

$$F_{CA} = -98.1 \text{ N}$$

$$Mf_A = 0 \text{ Nm}$$

$$\tau_{FCA} = \frac{-98.1}{\pi * \frac{0.025^2}{4}} = -0.1998 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{VMA} = \sqrt{0^2 + 3 * (-1.998)^2} = 0.346 \text{ MPa}$$

SECCIÓN B

$$\phi_B = 62 \text{ mm}$$

$$F_{CB} = -680.49 \text{ N}$$

$$Mf_B = 7.7 \text{ Nm}$$

$$\tau_{FCB} = \frac{-680.49}{\pi * \frac{0.062^2}{4}} = -0.225 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{MFB} = \frac{7.7 * \left(\frac{0.062}{2}\right)}{\frac{\pi}{64} * 0.062^4} = 0.329 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{VMB} = \sqrt{0.329^2 + 3 * (-0.225)^2} = 0.331 \text{ MPa}$$

SECCIÓN C

$$\phi_C = 40 \text{ mm}$$

$$F_{CC} = 508.45 \text{ N}$$

$$Mf_C = 63.84 \text{ Nm}$$

$$\tau_{FCC} = \frac{508.45}{\pi * \frac{0.040^2}{4}} = 0.404 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{MFC} = \frac{63.84 * \left(\frac{0.040}{2}\right)}{\frac{\pi}{64} * 0.040^4} = 10.16 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{VMC} = \sqrt{10.16^2 + 3 * (0.404)^2} = 10.184 \text{ MPa}$$

SECCIÓN D

$$\phi_D = 62 \text{ mm}$$

$$F_{CD} = 5.62 \text{ N}$$

$$Mf_D = 21.89 \text{ Nm}$$

$$\tau_{F_{CD}} = \frac{5.62}{\pi * \frac{0.062^2}{4}} = 0.00186 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{M_{FD}} = \frac{21.89 * \left(\frac{0.062}{2}\right)}{\frac{\pi}{64} * 0.062^4} = 0.93 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{VM_D} = \sqrt{0.93^2 + 3 * (0.00186)^2} = 0.9355 \text{ MPa}$$

SECCIÓN E

$$\phi_E = 62 \text{ mm}$$

$$F_{CE} = -497.21 \text{ N}$$

$$Mf_E = 7.05 \text{ Nm}$$

$$\tau_{F_{CE}} = \frac{-497.21}{\pi * \frac{0.062^2}{4}} = -0.1646 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{M_{FE}} = \frac{7.05 * \left(\frac{0.062}{2}\right)}{\frac{\pi}{64} * 0.062^4} = 0.301 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{VM_E} = \sqrt{0.301^2 + 3 * (-0.1646)^2} = 0.414 \text{ MPa}$$

SECCIÓN F

$$\phi_F = 40 \text{ mm}$$

$$F_{CF} = 582.39 \text{ N}$$

$$Mf_F = 48.07 \text{ Nm}$$

$$\tau_{F_{CF}} = \frac{582.39}{\pi * \frac{0.040^2}{4}} = 0.463 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{M_{FF}} = \frac{48.07 * \left(\frac{0.040}{2}\right)}{\frac{\pi}{64} * 0.040^4} = 7.65 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{VM_F} = \sqrt{7.65^2 + 3 * (0.463)^2} = 7.691 \text{ MPa}$$

SECCIÓN G

No consideramos este cálculo porque $F_{CG} = 0 \text{ N}$ y $Mf_G = 0 \text{ Nm}$ en nuestro diagrama de equilibrio.

3.2.5.5 CALCULO ANALITICO PARA LA DEFORMACION TOTAL

La deformación total es uno de los puntos a tratar para la validación del mecanismo, por lo que en una primera instancia podemos aproximar el resultado de esta deformación calculando analíticamente por la teoría de la distancia máxima entre la fibra neutra de un elemento en reposo y la fibra neutra del mismo elemento sometido a una carga, también llamada “Flecha”.

Nos disponemos a comprobar esta deformación en el centro de la barra, dada su gran longitud y su peso por ser un elemento macizo, idealizamos el modelo como una viga de sección circular biempotrada con una carga distribuida sobre ella, esta carga sería su peso propio.

La condición de biempotramiento la asumimos por la disposición del mecanismo donde la barra atraviesa la bancada por los dos lados simulando un empotramiento.

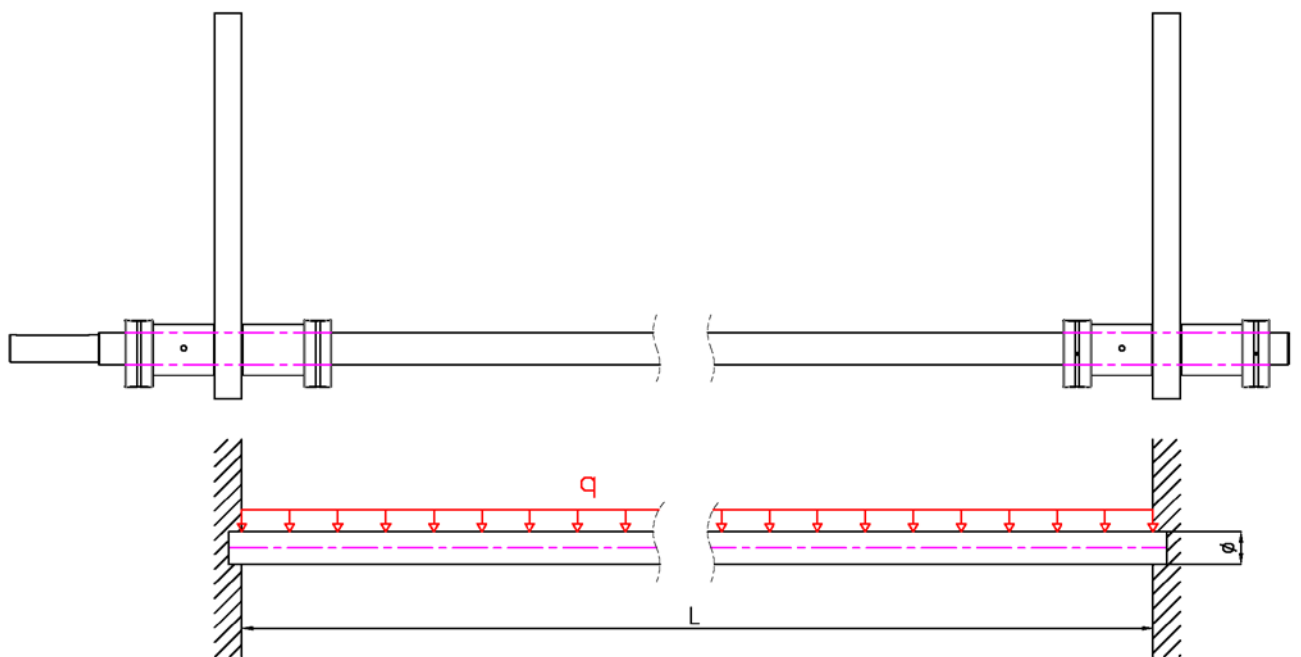


FIGURA 3.2.5.5. Idealización del modelo ME para cálculo de flecha máxima

Utilizaremos las siguientes formulas:

$$Y_{max} = \frac{q * L^4}{384 * E * I}$$

Flecha máxima para L/2

$$q = \frac{F}{L}$$

Carga distribuida

$$F = m_{barra} * g$$

Fuerza ejercida

$$I = \frac{\pi}{64} * d^4$$

Momento de inercia secció circular maciza

Datos:

- $\varnothing = 30 \text{ mm}$
- $E = 205000 \text{ N/mm}^2$ (modulo elástico de F-1110)
- $M_{\text{barra}} = 15.43 \text{ Kg}$ aproximadamente

Resolución:

$$F = 15.43 * 9.81 = 151.36 \text{ N}$$

$$q = \frac{151.36}{2780} = 0.0544 \text{ N/mm}$$

$$I = \frac{\pi}{64} * 30^4 = 39700 \text{ mm}^4$$

$$Y_{\text{max}} = \frac{0.0544 * 2780^4}{384 * 205000 * 39700} = \mathbf{0.0104 \text{ mm}}$$

3.2.6 RESULTADOS OBTENIDOS

Se realiza el cálculo en el simulador con los datos introducidos, los resultados que vamos a utilizar para nuestra validación del modelo son:

- La tensión equivalente de Von Mises
- La deformación o desplazamiento total

3.2.6.1 TENSION EQUIVALENTE DE VON MISSES

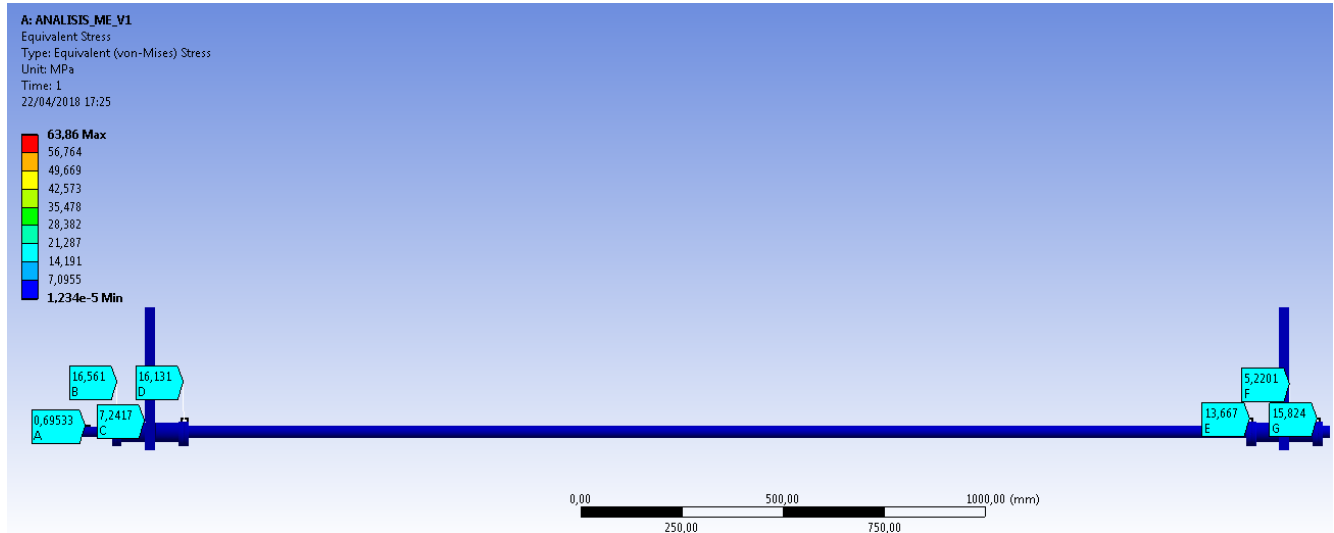


FIGURA 3.2.6.1.1. Tensión de Von Mises vista de tensiones en sección ABCDEFG

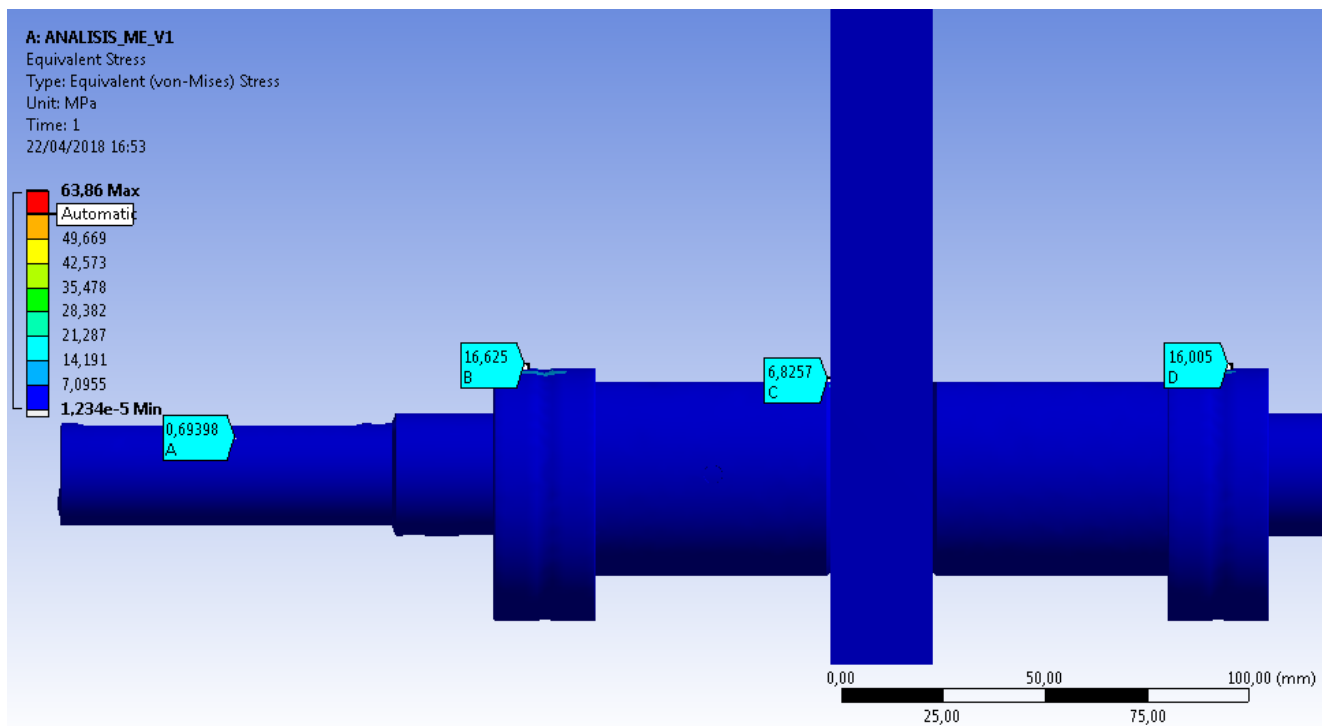


FIGURA 3.2.6.1.2..tensión de Von Mises vista de tensiones en seccion ABCD

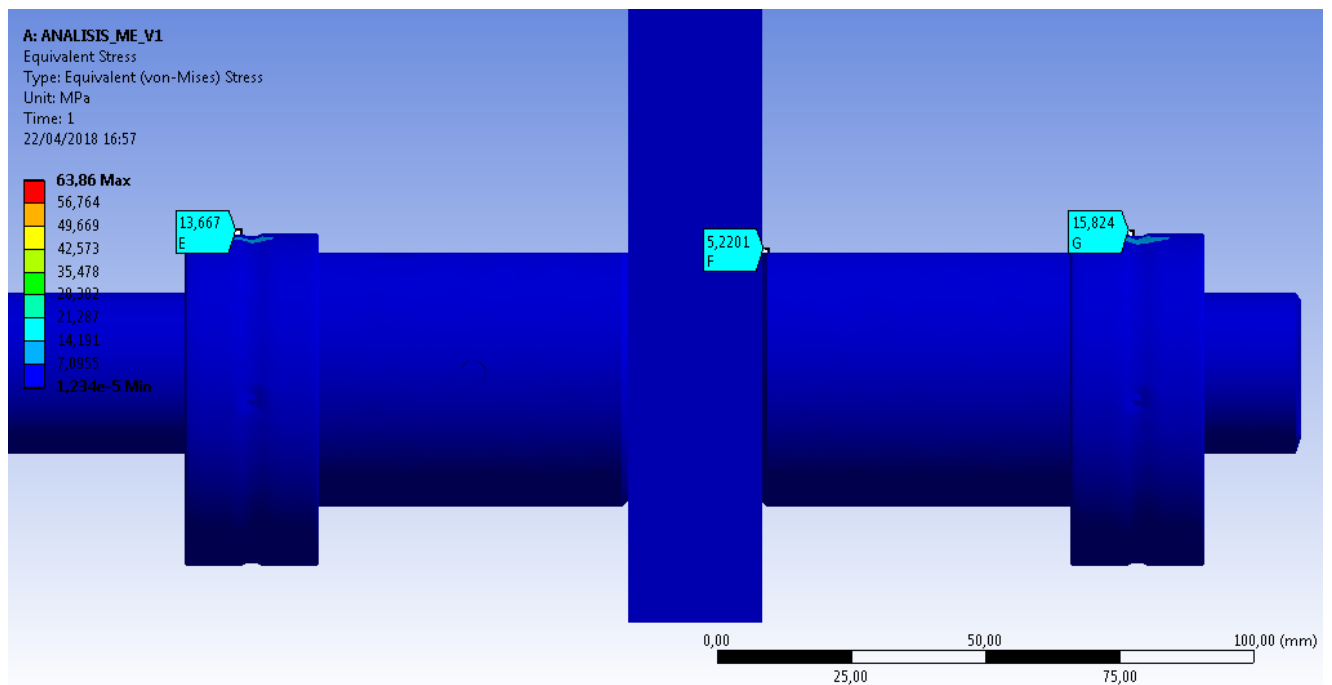


FIGURA 3.2.6.1.3. Tensión de Von Misses vista de tensiones en sección EFG

TABLA 3.2.5 Tensión de Von Misses análisis ME v1

ANALISIS ME V1			
	RESULTADOS TENSION VON MISSES (Mpa)		
SECCION	ANSYS	ANALITICO	% DIFERENCIA
A	0,693	0,346	66,79
B	16,625	0,331	192,19
C	6,825	10,184	39,50
D	16,005	0,935	177,92
E	13,667	0,414	188,24
F	5,22	7,691	38,28
G	15,82	0	200,00

En primera instancia se puede observar una diferencia de resultados bastante notoria entre los dos sistemas de cálculo empleados, siendo la sección “F” la sección con la diferencia más pequeña entre resultados.

Esta primera comparativa nos indica que el modelo de Ansys nos arroja unos resultados mucho más reales que los analíticos, esto puede deberse a que en el simulador los resultados son fruto de un análisis más exhaustivo donde se toman en cuenta muchos factores de forma y geometrías que el modelo analítico no es capaz de incorporar, ya que para el modelo analítico se emplea un entorno ideal o idealizado.

No obstante, el Ansys nos ofrece el resultado NORMAL STRESS que nos muestra la contribución de la tensión generada por el momento flector en la sección. Este resultado nos da un porcentaje de diferencia menor al ser comparados con los resultados de las tensiones por momento flector calculados analíticamente. Esto nos indica un aumento de la coherencia entre modelos de cálculo.

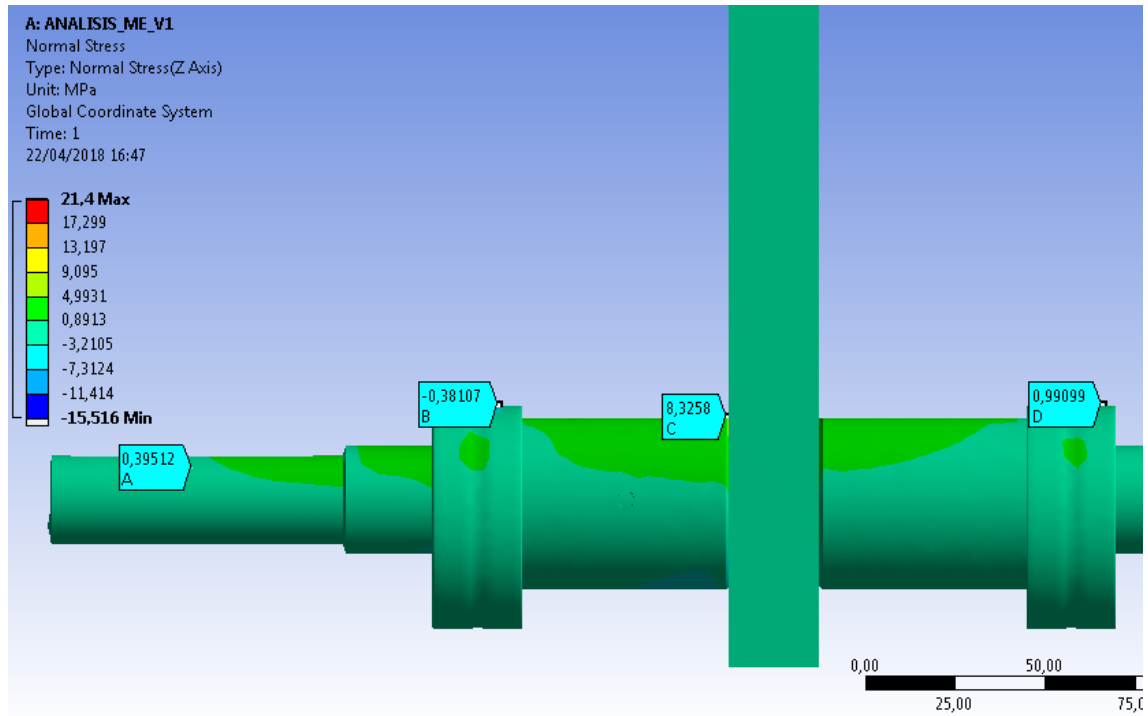


FIGURA 3.2.6.1.4. Normal stress vista de tensión en sección ABCD

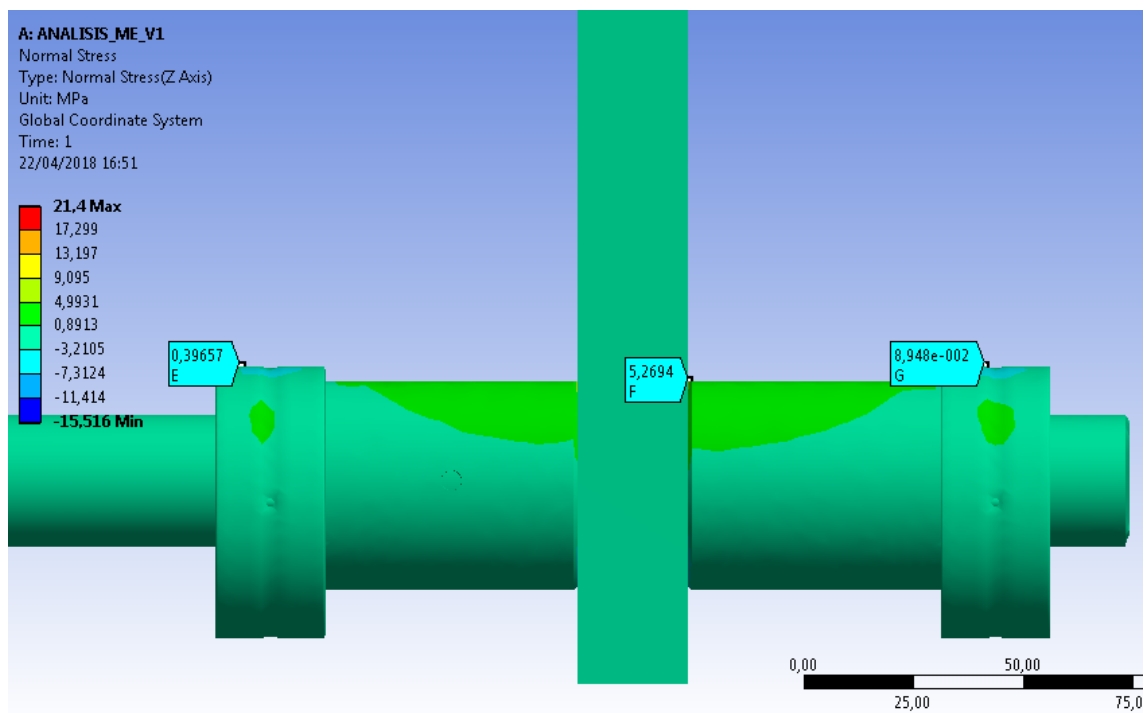


FIGURA 3.2.6.1.5. Normal stress vista tensión en sección EFG

TABLA 3.2.6.1.6 Resultados de tensión normal

ANALISIS ME V1			
SECCION	RESULTADOS TENSION NORMAL STRESS (Mpa)		% DIFERENCIA
	ANSYS	ANALITICO	
A	0,395	0,346	13,23
B	0,381	0,331	14,04
C	8,325	10,184	20,09
D	0,99	0,935	5,71
E	0,396	0,414	4,44
F	5,269	7,691	37,38
G	0,0894	0	200,00

Ansys también ofrece otro resultado para tensiones llamado SHEAR STRESS, este resultado nos muestra la contribución de las tensiones producidas por los esfuerzos cortantes en el modelo.

Los valores de los esfuerzos cortantes son tan bajos que no incluiremos estos datos al considerarlo poco relevantes para los esfuerzos por flexión.

3.2.6.2 APROXIMACIÓN POR MODELO IDEALIZADO

Uno de los motivos por los que encontramos grandes diferencias entre los cálculos de Ansys y los hechos analíticamente, son los modelos analizados. Si bien es verdad que Ansys toma en cuenta un modelo con más detalle para entregar resultados, para el modelo analítico que es un esquema simplificado de las fuerzas ejercidas sobre líneas, podemos probar cómo se comporta el simulador al introducir un modelo CAD más idealizado, usando una pieza considerada como una probeta en donde se represente la geometría generalizada de cada sección, de forma que tengamos una única pieza maciza con las mismas medidas externas o de contorno que el modelo real analizado en la versión 1 de este análisis tiene.

Este segundo análisis lo llamaremos “ANALISIS ME_V2”

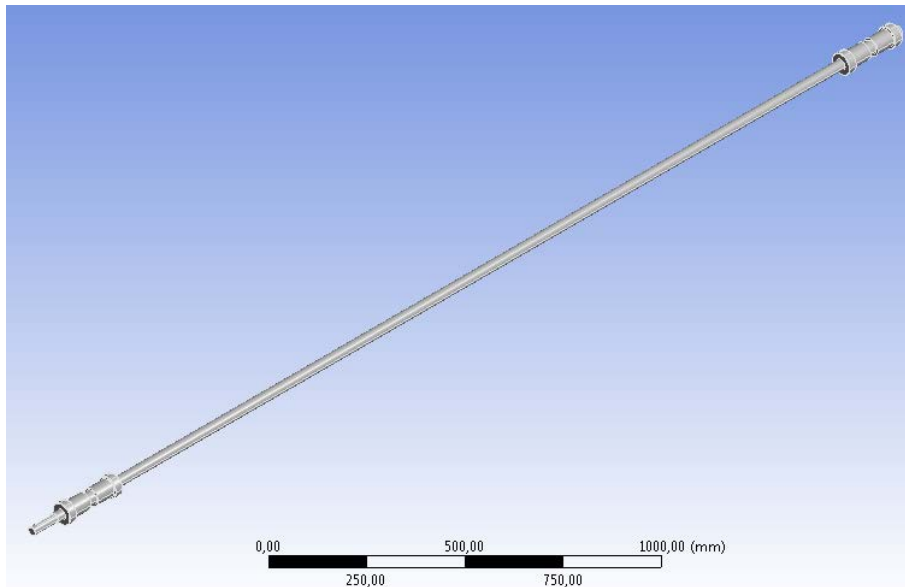


FIGURA 3.2.6.2.1. Modelo idealizado mecanismo excéntrico (ME) v2

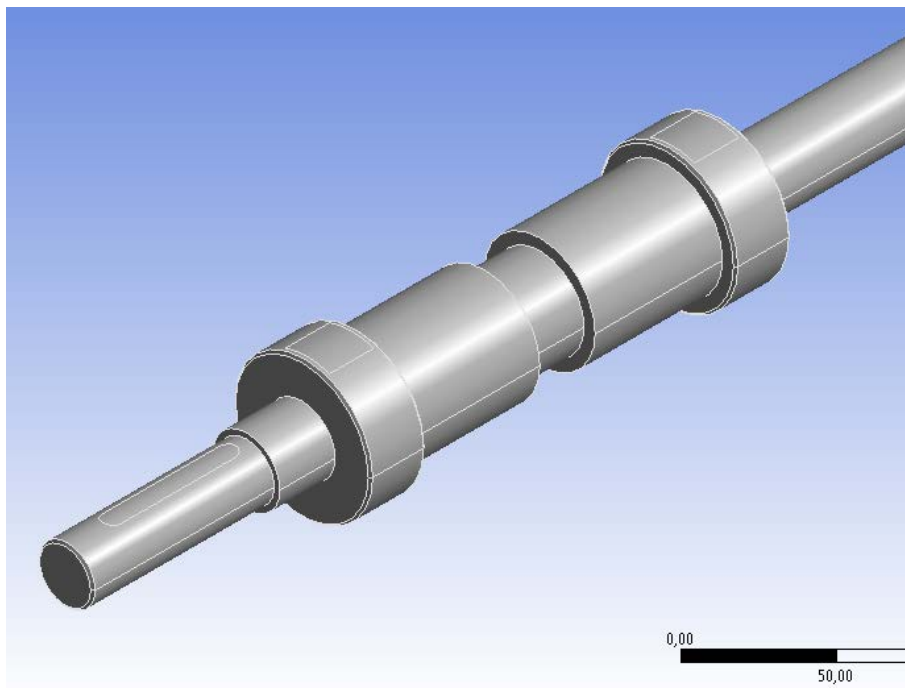


FIGURA 3.2.6.2.2. Detalle de modelo idealizado mecanismo excéntrico (ME)

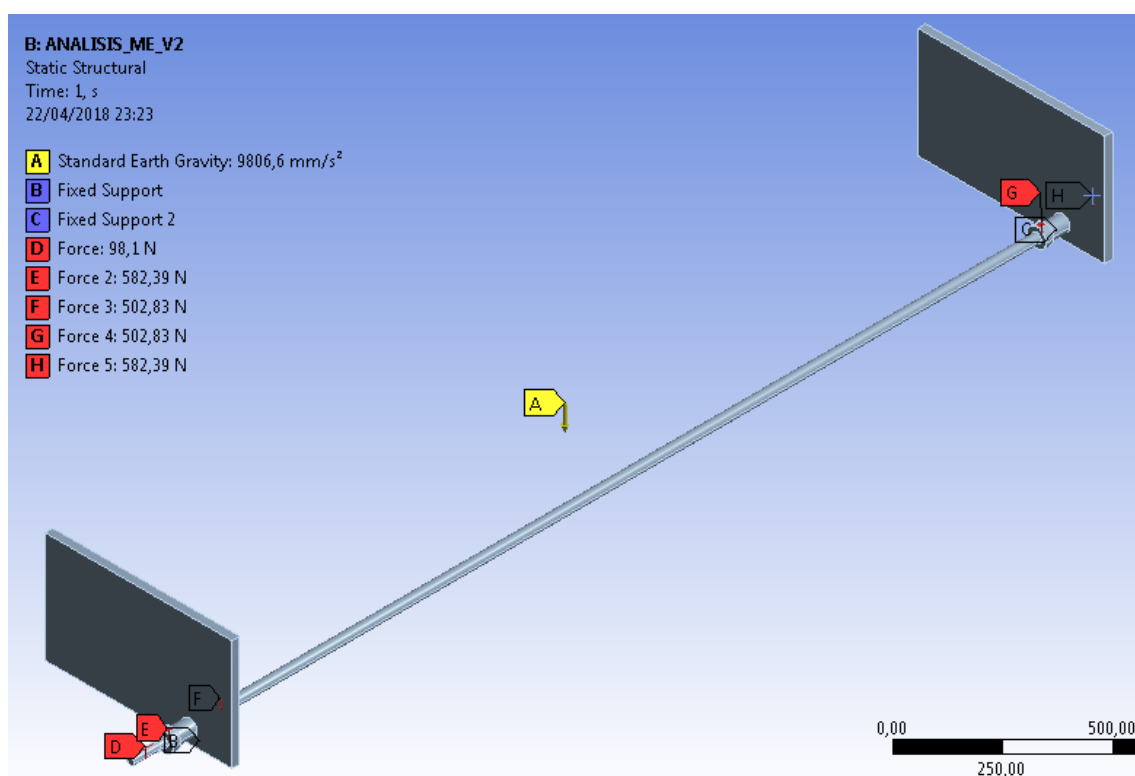


FIGURA 3.2.6.2.3. Aplicación de condiciones de contorno al modelo idealizado ME

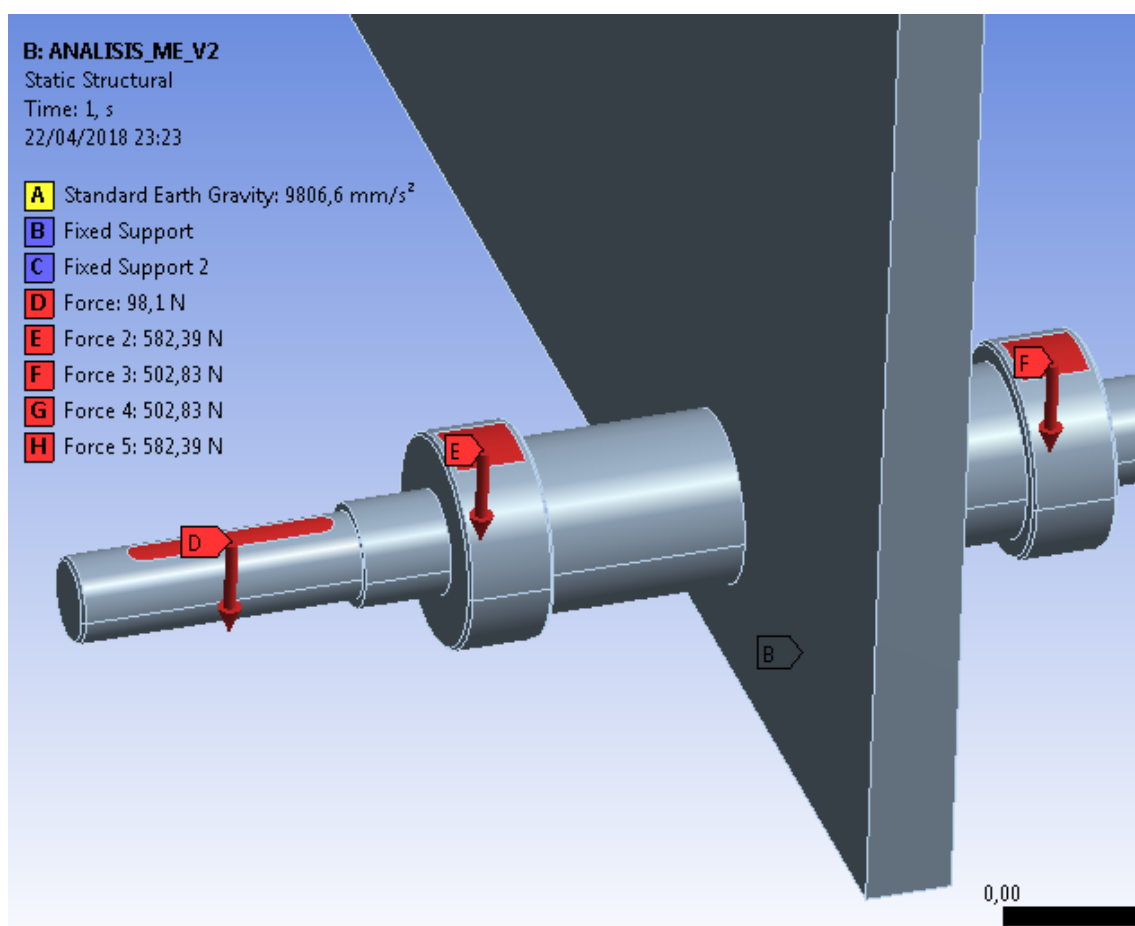


FIGURA 3.2.6.2.4. Detalle Aplicación de condiciones de contorno al modelo idealizado ME

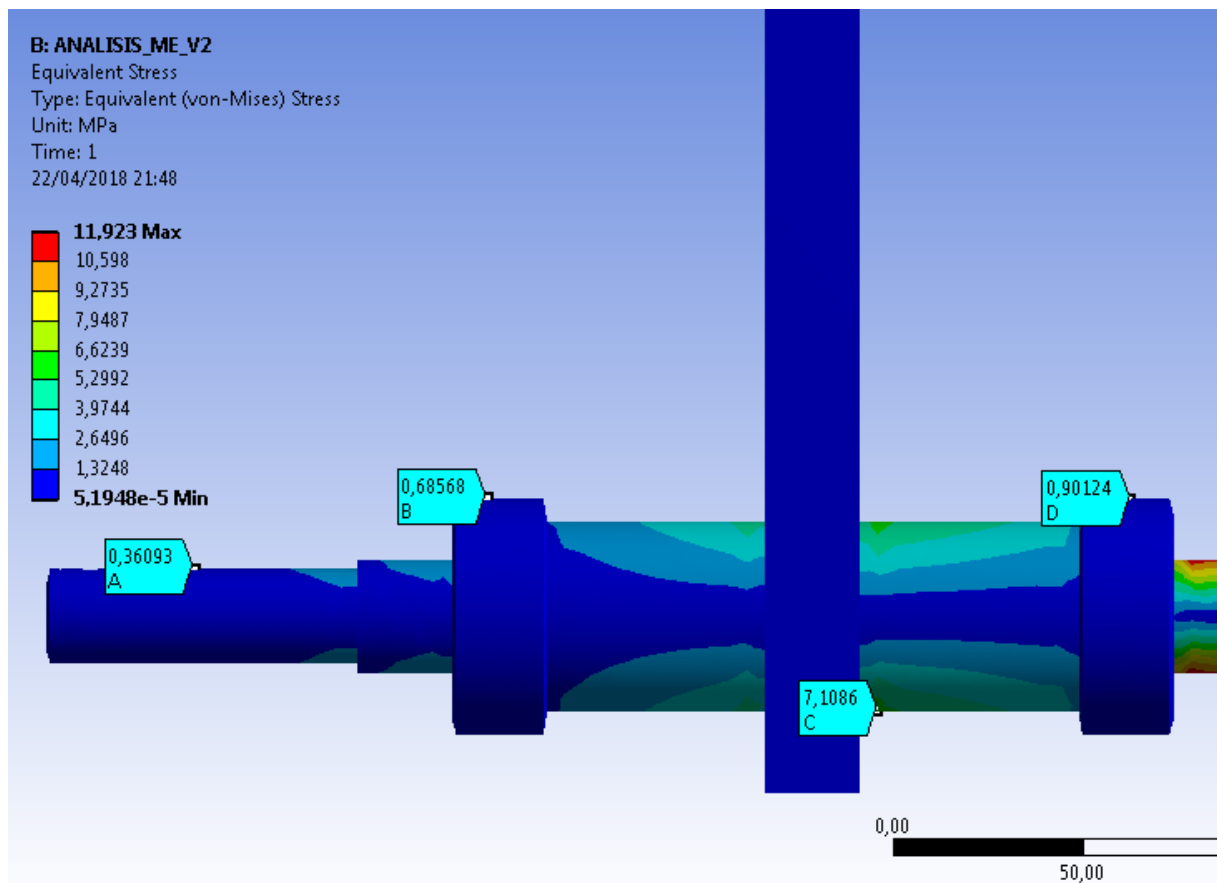


FIGURA 3.2.6.2.5. Tensión de Von Misses en sección ABCD

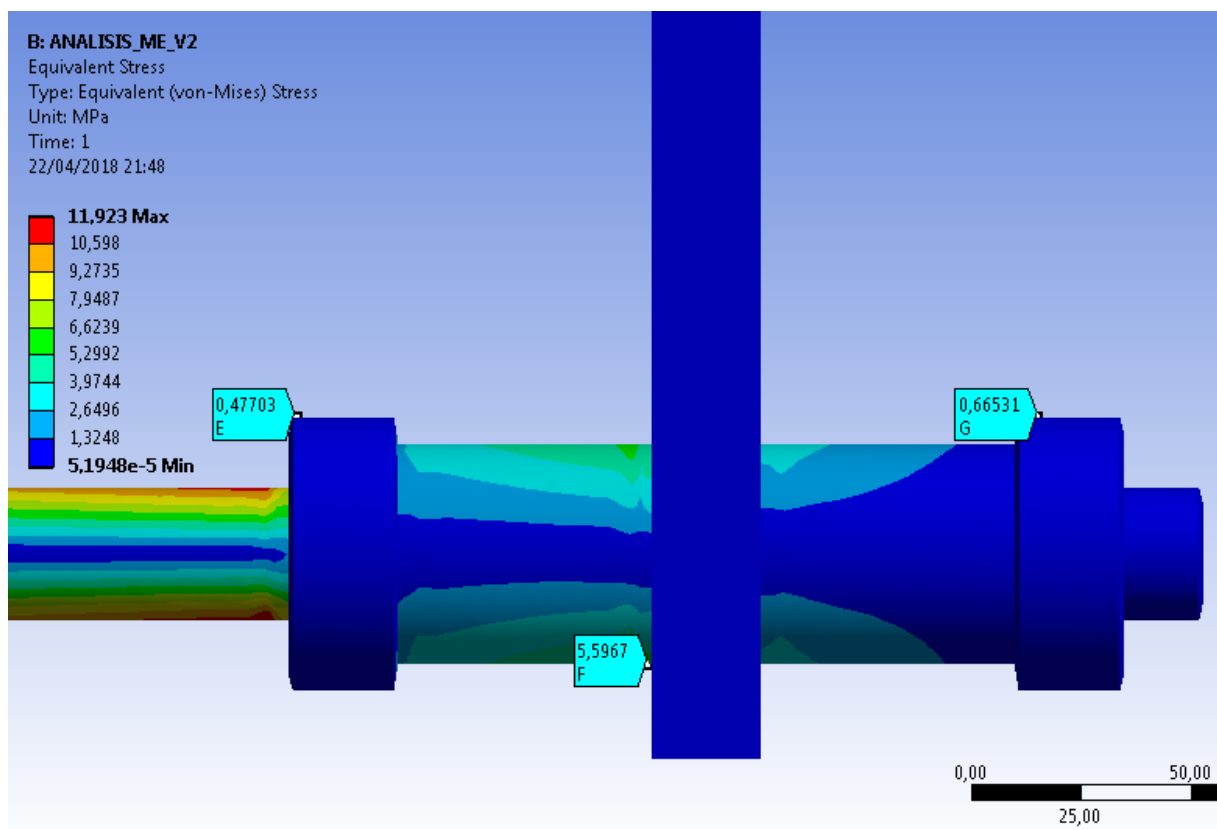


FIGURA 3.2.6.2.6. Tensión de Von Misses en sección EFG

TABLA 3.2.6.2.7. Resultados Tensión de Von Misses modelo idealizado

ANALISIS ME V2			
SECCION	RESULTADOS TENSION VON MISSES (Mpa)		% DIFERENCIA
	ANSYS	ANALITICO	
A	0,36	0,346	3,97
B	0,685	0,331	69,69
C	7,108	10,184	35,58
D	0,901	0,935	3,70
E	0,477	0,414	14,14
F	5,596	7,691	31,53
G	0,665	0	200,00

Los resultados obtenidos en el modelo idealizado son más aproximados a los resultados calculados analíticamente, teniendo como máxima tensión **11.92 MPa** cerca de las secciones “D y E”.

Con esto comprobamos que con un modelo CAD simplificado, el simulador llega a resultados muy aproximados a los calculados analíticamente. Por lo tanto, se puede concluir que hay coherencia entre los dos sistemas de cálculo, avalando los resultados del primer análisis (V1) donde el simulador nos da los resultados más reales que nos servirán para validar la resistencia del conjunto.

3.2.6.3 DEFORMACION TOTAL

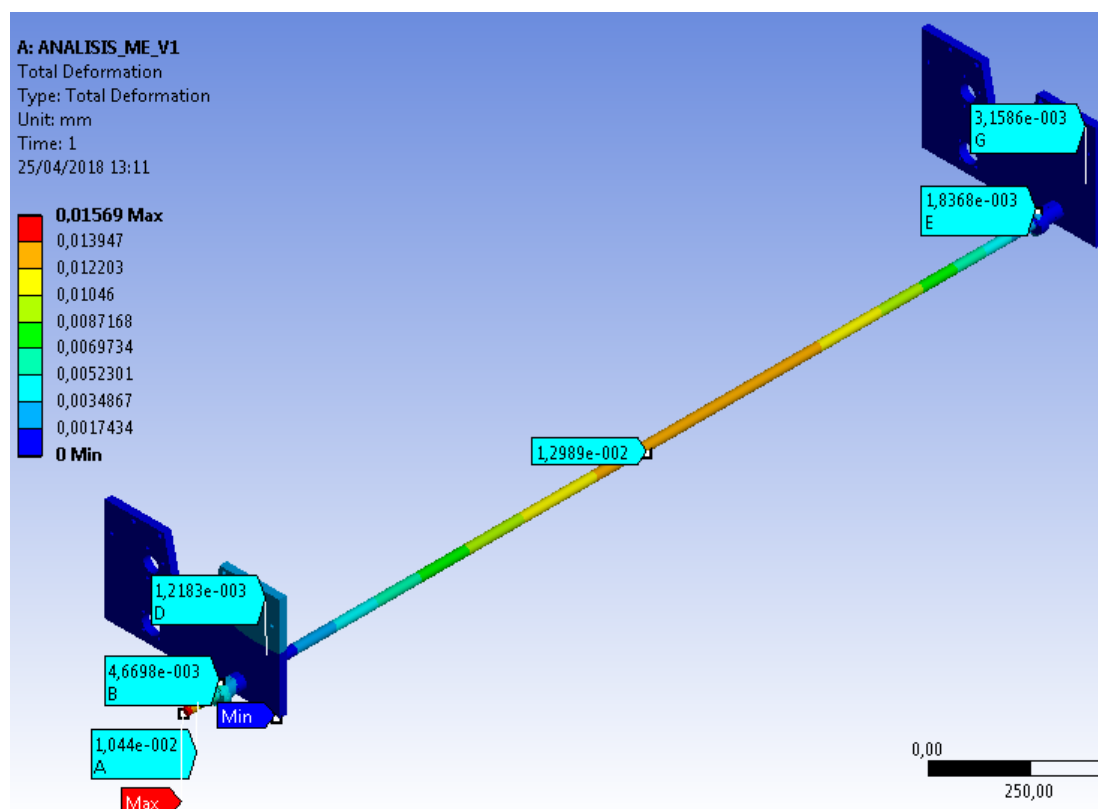


FIGURA 3.2.6.3.1. Deformación total ME v1

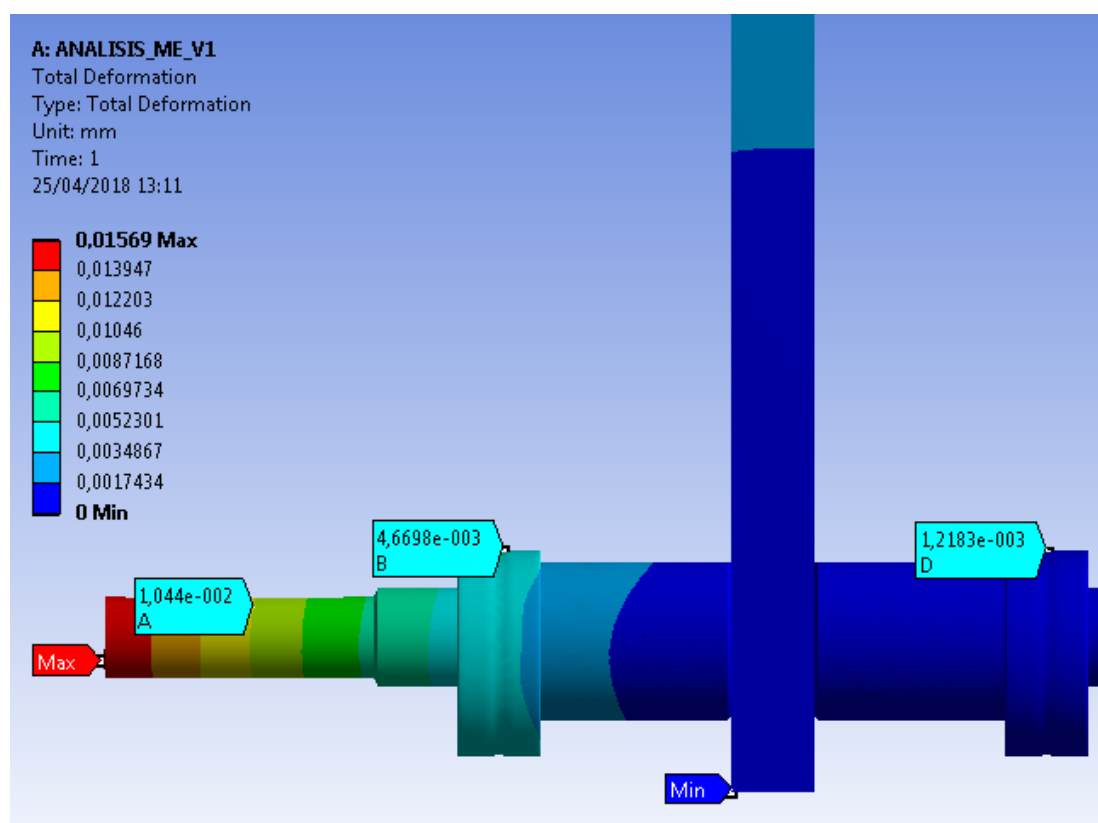


FIGURA 3.2.6.3.2. Deformación total sección ABD

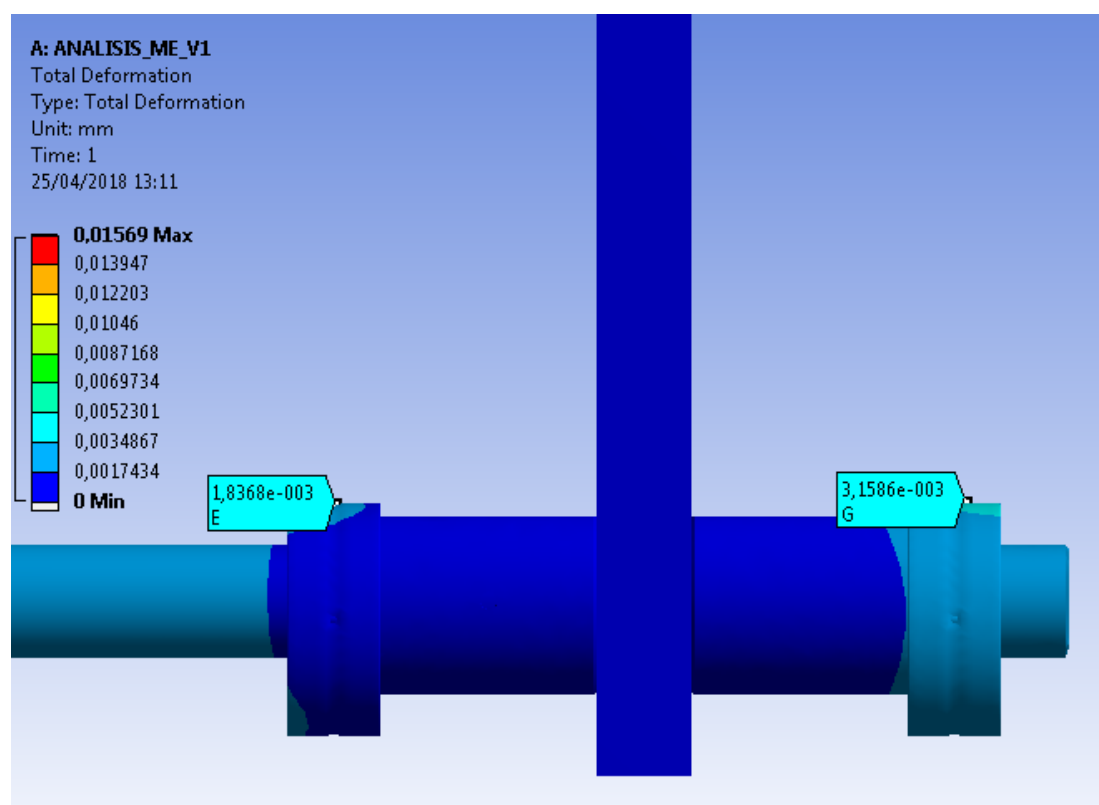


FIGURA 3.2.6.3.3. Deformación total ME v1 punto máximo

3.2.6.4 FACTOR DE SEGURIDAD

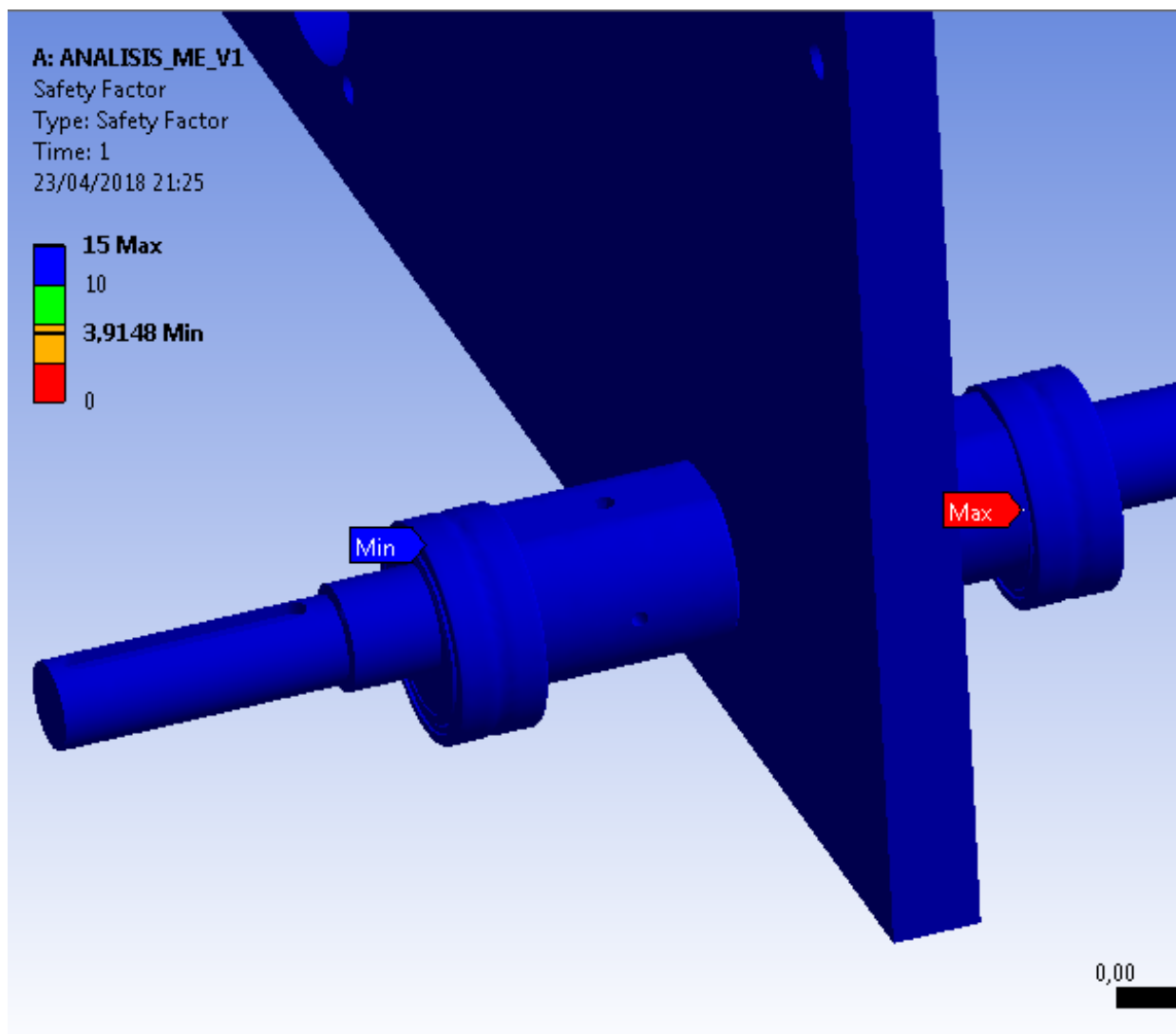


FIGURA 3.2.6.4.Factor de seguridad ME v1

3.2.7 VALIDACIÓN

Finalizado la etapa de recogida de resultados, podemos validar este sistema de piezas que conforman el mecanismo. Se pretende dar sentido a los resultados de las soluciones que se ha solicitado al simulador y así, poder sustentar técnicamente los parámetros de diseño del mecanismo.

3.2.7.1 TENSIONES MÁXIMAS

Como se ha explicado en el apartado de resultados, el Ansys nos entrega puntos de tensiones muy cerca de la realidad, puesto que analiza en detalle el modelo introducido.

La tensión máxima equivalente de Von Mises la ubica en los rodamientos de agujas, pero no en la superficie directa de contacto con el esfuerzo, si no en la geometría interna del rodamiento, donde se posicionan los rodillos transversales. Este dato es comprensible debido a que el programa toma como sección resistente a la sección del rodillo transversal del rodamiento, que es 3.6 mm, aumentando el resultado de la tensión en esta zona.

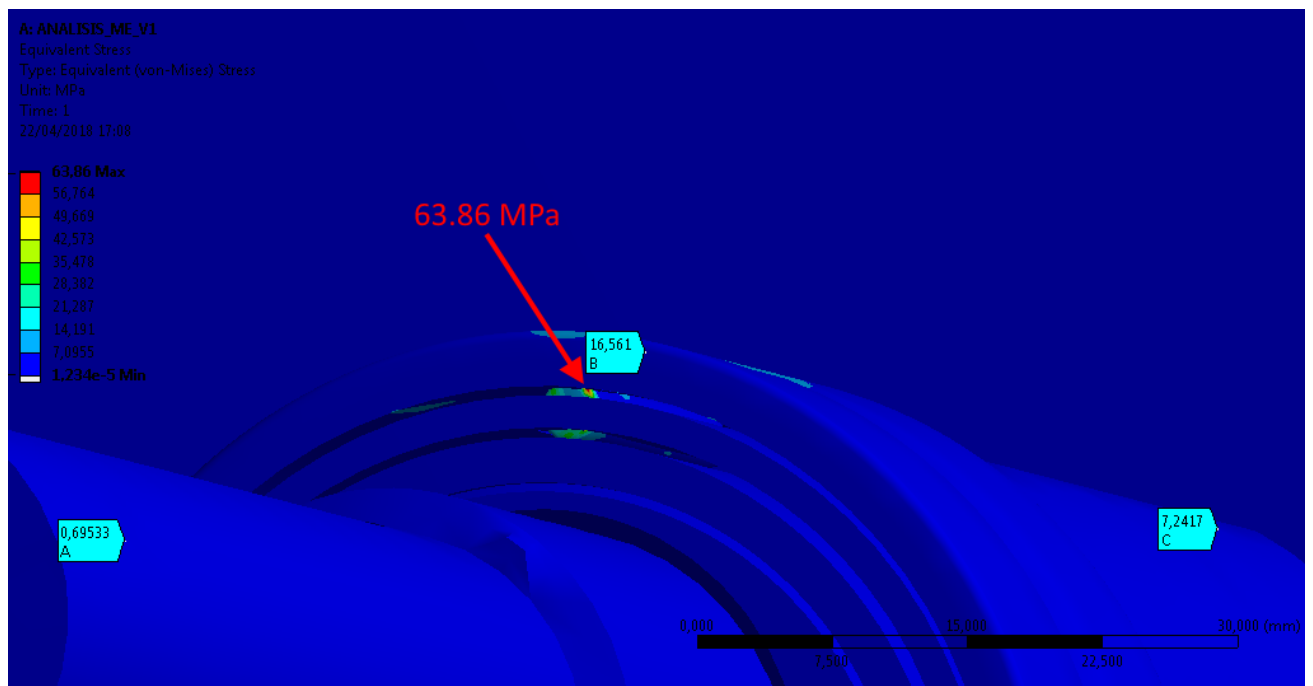


FIGURA 3.2.7.1. Tensión de Von Mises punto máximo de simulación.

Teniendo en cuenta que el rodamiento o los rodillos del rodamiento tendrán una tensión máxima de 63.86 MPa, repasamos las características del rodamiento según el fabricante para así determinar si el rodamiento es el adecuado.

3.2.7.2 RODAMIENTO DE AGUJAS NK 50/25 TV

El rodamiento es un elemento normalizado según DIN 617, norma del instituto alemán de normalización vigente desde el 2008.

Presenta los siguientes datos del producto:

Serie	Productos	Datos de producto	Descripción	Cálculo	CAD	Montaje	Cesta de productos	Hoja de datos																																
Rodamientos de agujas NK50/25-TV-XL serie ligera																																								
			<table border="1"> <tr> <td>F_w</td> <td>50 mm</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>62 mm</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>25 mm</td> </tr> <tr> <td>r_{min}</td> <td>0,6 mm</td> </tr> <tr> <td>m</td> <td>146 g</td> <td>Peso</td> </tr> <tr> <td>C_r</td> <td>48500 N</td> <td>Capacidad de carga dinámica, radial</td> </tr> <tr> <td>C_{0r}</td> <td>87000 N</td> <td>Capacidad de carga estática, radial</td> </tr> <tr> <td>C_{ur}</td> <td>14800 N</td> <td>Carga límite de fatiga, radial</td> </tr> <tr> <td>n_G</td> <td>9200 1/min</td> <td>Velocidad límite</td> </tr> <tr> <td>n_B</td> <td>5400 1/min</td> <td>Velocidad de referencia</td> </tr> <tr> <td></td> <td>G50X62X5</td> <td>Anillo obturador</td> </tr> <tr> <td></td> <td>SD50X62X5</td> <td>Anillo obturador</td> </tr> </table>						F_w	50 mm	D	62 mm	C	25 mm	r_{min}	0,6 mm	m	146 g	Peso	C_r	48500 N	Capacidad de carga dinámica, radial	C_{0r}	87000 N	Capacidad de carga estática, radial	C_{ur}	14800 N	Carga límite de fatiga, radial	n_G	9200 1/min	Velocidad límite	n_B	5400 1/min	Velocidad de referencia		G50X62X5	Anillo obturador		SD50X62X5	Anillo obturador
F_w	50 mm																																							
D	62 mm																																							
C	25 mm																																							
r_{min}	0,6 mm																																							
m	146 g	Peso																																						
C_r	48500 N	Capacidad de carga dinámica, radial																																						
C_{0r}	87000 N	Capacidad de carga estática, radial																																						
C_{ur}	14800 N	Carga límite de fatiga, radial																																						
n_G	9200 1/min	Velocidad límite																																						
n_B	5400 1/min	Velocidad de referencia																																						
	G50X62X5	Anillo obturador																																						
	SD50X62X5	Anillo obturador																																						

FIGURA 3.2.7.2. Datos de referencia NK 50/25 TV

Según las condiciones de contorno definidas en el modelo, el esfuerzo máximo de los rodamientos estaría ubicado en el rodamiento de la sección B con 582.39 N

Las cargas en los rodamientos encontradas mediante el cálculo analítico nos dan un esfuerzo cortante máximo en la misma zona (sección B) de 680.49 N. Utilizamos esta información para saber si la elección de los rodamientos usados por el fabricante, cumplen con la solicitud en el punto de contacto.

La principal función del rodamiento es eliminar la fricción producida por las cargas que aportan los rodillos cuando la barra del eje excéntrico se mueve, recordemos que para efectos de este estudio consideramos al eje un elemento estático, entonces comparamos la capacidad de carga estática radial aportada por el fabricante del rodamiento, con la carga ejercida en la sección donde actúa el rodamiento.

- *Carga máxima aplicada* = 680.49 N
- *Capacidad de carga estática radial* = 87000 N

Se comprueba que el rodamiento cumple con mucha holgura la solicitud requerida de esta aplicación.

Por otro lado, nos propusimos averiguar el comportamiento del eje excéntrico, que es la pieza que recibe todos los esfuerzos del sistema ME.

Los resultados de la tabla 3.2.5. en el apartado de resultados, nos indican que en las secciones estudiadas de la barra encontramos tensiones que oscilan entre (0.69 y 16.625) MPa, tensiones que son perfectamente soportadas por el límite a fluencia del material escogido para fabricar la barra, que es un acero F-1140 con un límite elástico de 530 MPa.

En resumen, los datos obtenidos en los cálculos analíticos previos avalan, los resultados del simulador, puesto que se ha comprobado la coherencia de resultados realizando un segundo análisis en ANSYS con un modelo idealizado, modelo más aproximado al que usamos en una calculo analítico.

Habiendo comprobado la veracidad de los resultados de Ansys de la versión 1 (v1) podemos afirmar que la barra y los elementos que la acompañan en el mecanismo cumplen con la sollicitación requerida del mecanismo.

Con estas conclusiones damos como valido el diseño de la barra en lo que a resistencia de tensiones se refiere.

3.2.7.3 DEFORMACIÓN TOTAL

La deformación es otro factor de diseño que se toma en cuenta para este análisis, puesto que la barra excéntrica es portadora de piezas que pretenden dar una precisión específica al mecanismo, recordemos que su principal función es regular el GAP (regulación de espesor de parafina a aplicar) donde se requiere una precisión de ± 0.01 mm y la apertura del GAP va desde 0.05 a 0.3 mm.

En los cálculos analíticos previos hemos realizado una aproximación utilizando la teoría de deflexión por flecha, de nuevo idealizando el sistema para obtener un dato que nos corrobore los resultados entregados por Ansys para la deformación.

El cálculo se puntualizó en la zona central de la barra buscando la flecha máxima en $L/2$. Los cálculos analíticos nos dan como resultado una flecha máxima de **0.0104 mm**, al compararlos con el resultado de Ansys que es de **0.01298 mm**, encontramos una diferencia de 24 %, porcentaje comprensible dado que, Ansys abarca un mayor número de parámetros de cálculo, que el modelo ideal utilizado en el cálculo analítico.

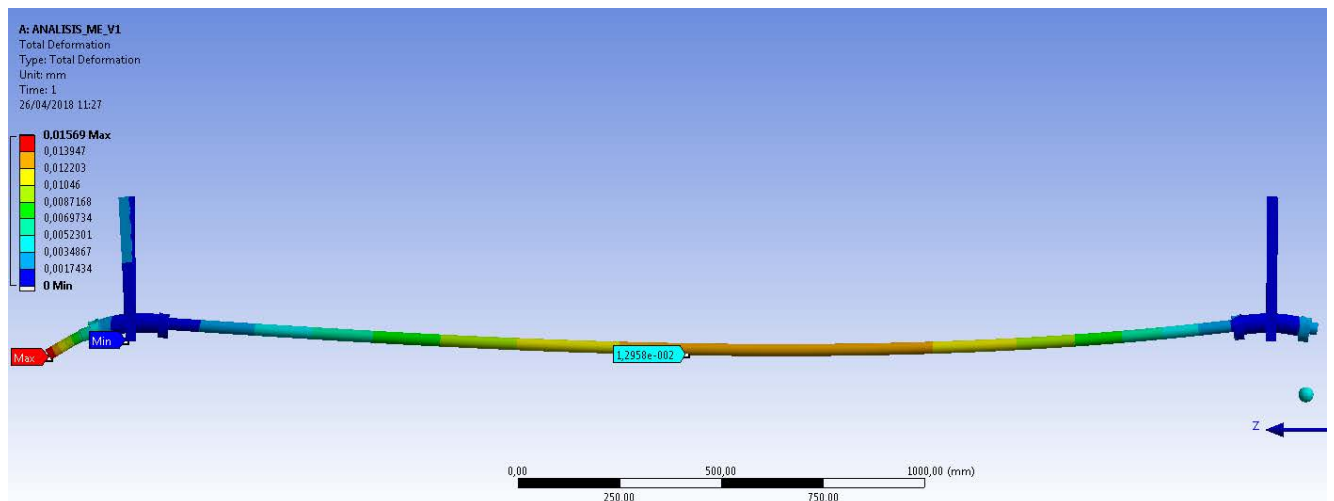


FIGURA 3.2.7.3. Vista de deformada escala 5100

Por lo tanto, nos fijamos en la deformación o desplazamiento de la barra y las zonas donde esta aparece, para descartar cualquier des-alineamiento de los reguladores de posición del mecanismo, posible causante de errores de medición de espesor aplicado.

Según los resultados, las zonas de regulación están bastante alejadas de la deformación más significativa encontrada, que es de 0.01569 mm, y los puntos de regulación del mecanismo, registran una deformación máxima de 0.00143 mm, resultado que se puede considerar como aceptable y no influyente para la efectividad de la regulación de la máquina.

Podemos validar el diseño de la barra en lo que deformación total se refiere.

3.2.7.4 FACTOR DE SEGURIDAD

Los resultados de factor de seguridad, para este análisis son un mínimo de 3.9148 y un máximo de 15, esto se debe a que el simulador relaciona el factor mínimo con la pieza que se considera el mayor concentrador de tensiones, que como vimos en el resultado de tensión de Von Misses, está ubicado en el rodillo del rodamiento de agujas NK 50/25 TV, pero para nuestro propósito de analizar la barra excéntrica del mecanismo, podemos encontrar el valor de FS de cada sección en función del límite elástico de los materiales involucrados en cada sección.

TABLA 3.2.7.4. Factor de seguridad por sección de barra

ECCION	MATERIAL	LIMITE ELASTICO (MPa)	TENSION EQUIVALENTE (MPa)	FS
A	F-1140	530	0,693	764,79
B	ST-52,3	275	16,625	16,54
C	BRONCE MANG	206	6,825	30,18
D	ST-52,3	275	16,005	17,18
E	ST-52,3	275	13,667	20,12
F	BRONCE MANG	206	5,22	39,46
G	ST-52,3	275	15,82	17,38

Según los resultados obtenidos existen factores de seguridad en las secciones, que cumplen sin problemas los requerimientos en cada sección.

Se observa resultados que sobrepasan el factor máximo de 15 que nos da el Ansys, pero esto se debe que este programa calcula factores de seguridad con una relevancia máxima de 15, interpretando que los resultados por encima de este valor carecen de importancia para el diseño, por lo tanto, no los incluye como resultado.

Podemos concluir que la barra cumple con demasiada holgura la sollicitación requerida en las secciones por lo tanto se valida el diseño y los materiales escogidos para formar el conjunto del mecanismo, tanto como la barra excéntrica y las piezas que trabajan solidariamente con ella.

No obstante, podemos afirmar que la barra está diseñada con factores de seguridad demasiado altos y que dan pie a posibles estudios de optimización para rebajar costes

4 CONCLUSIONES GENERALES

Habiendo terminado el análisis y la validación, la principal conclusión es que se puede hacer mucho más con esta máquina; su actual construcción y funcionamiento son mejorables en muchos aspectos, pero en concreto para los elementos que elegimos para este estudio, se ha podido comprobar que su diseño abarca formas y materiales por encima de sus necesidades, situación que en ocasiones puede perjudicar a la empresa en los siguientes aspectos:

- Funcionamiento defectuoso.
- Baja calidad de producto aplicado.
- Grandes costes de mantenimiento post venta.
- Costes de fabricación no necesarios.
- Desprestigio de la empresa constructora de la máquina.

La falta de desarrollo de un producto sea cual sea, es un hándicap para la empresa que la fábrica. El aumento de controles de calidad y normalización de productos, requieren un esfuerzo constante de las empresas que fabrican productos, aparte de que la competencia es cada vez más exigente.

Se puede añadir que según hemos avanzado en la realización de este trabajo, los factores como la poca colaboración y falta de información por parte de la empresa han sido una barrera que se tuvo que superar con perseverancia y mucho esfuerzo, dando valor añadido al este trabajo por su posible aplicación a trabajos de mayor alcance, estamos convencidos que servirá de mucha ayuda como punto de inicio en el desarrollo de máquinas que ya están en funcionamiento.

En general podemos decir que nuestro objetivo se ha cumplido satisfactoriamente, al conseguir dar un fundamento teórico y técnico sobre puntos de un mecanismo que ya está diseñado y fabricado, El haber tenido la oportunidad de experimentar la forma de llevar a un caso real de una empresa real con problemas reales, hasta los conocimientos adquiridos en la carrera, y conseguir aplicarlos, poder llevar nuestras suposiciones y convertirlas en afirmaciones, nos deja sensaciones positivas para cumplimentar mi formación como ingeniero.

5 PRESUPUESTO

CAPITULO 1: INVESTIGACIÓN

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (h)	TARIFA	PRECIO UNITARIO (€)	PRECIO (€)
Recopilación de documentos	10	ADM	18,00 €	180,00 €
desplazamientos	15	ADM	18,00 €	270,00 €
SUBTOTAL				450,00 €

CAPITULO 2: DEPÓSITO DE PARAFINA

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (h)	TARIFA	PRECIO UNITARIO (€)	PRECIO (€)
Modelado	60	DELI	35,00 €	2.100,00 €
Realización de planos	16	DELI	35,00 €	560,00 €
Definición de condiciones de contorno	6	INGE	50,00 €	300,00 €
configuración de modelo para simulación	4	INFO	20,00 €	80,00 €
Simulación	1	INFO	20,00 €	20,00 €
Recogida e interpretación de resultados	8	INGE	50,00 €	400,00 €
Validación e informe preliminar	5	INGE	50,00 €	250,00 €
SUBTOTAL				3.710,00 €

CAPITULO 2: MECANISMO EXCÉNTRICO

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (h)	TARIFA	PRECIO UNITARIO (€)	PRECIO (€)
Modelado	110	DELI	35,00 €	3.850,00 €
Realización de planos	18	DELI	35,00 €	630,00 €
Definición de condiciones de contorno	25	INGE	50,00 €	1.250,00 €
configuración de modelo para simulación	10	INFO	20,00 €	200,00 €
Simulación	5	INFO	20,00 €	100,00 €
Recogida e interpretación de resultados	14	INGE	50,00 €	700,00 €
Validación e informe preliminar	5	INGE	50,00 €	250,00 €
SUBTOTAL				6.980,00 €

CAPITULO 4: INFORME FINAL

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (h)	TARIFA	PRECIO UNITARIO (€)	PRECIO (€)
Redacción de informe final	22	ADMI	18,00 €	396,00 €
Impresión de informe	1	ADMI	18,00 €	18,00 €
SUBTOTAL				414,00 €

SUMARIO

DESCRIPCIÓN

Investigación 450,00 €

Depósito de parafina 3.710,00 €

Mecanismo excéntrico 6.980,00 €

Informe final 414,00 €

TOTAL

11.554,00 €

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA Y WEBGRAFÍA

- Resistencia de materiales “Problemas resueltos” M Ferrer-JL Macías-F Marimón-Pastor-F Roure- LI Vilaseca. Aula Politécnica ETSEIB.
- Mecánica de estructuras Libro 1 Miguel Cervera Ruiz - Elena Blanco Díaz Edición UPC
- PRODUCTOS RELACIONADOS

<http://estesa.es/descargas/Serra/Applicator-SX-ENG.pdf>

- CONSULTA PARA MODELADO

<http://www.spiraxsarco.com/resources/pages/cad-library.aspx>

<https://www.traceparts.com/es>

<http://www.bombasrh.com/detalle-producto.php?id=81>

<https://es.sun-inox.com/conexiones/soldables/reducciones-concentricas-y-excentricas/>

- CONSULTA ANSYS WORKBENCH

<https://www.ansys.com/academic/free-student-products/support-resources>

<file:///E:/Descargas/workbenchansys.pdf>

- CONSULTA DE MATERIALES

<http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn101.html>

<http://www.aleaceros.com/calidades/acero-al-carbono>

<http://www.acerosgrinon.com/productos/utilidades/TABLAS-EQUIVALENCIAS-INTERNACIONALES>

http://www.acerosdelvalles.com/1_19_f1510.html

<http://industry.arcelormittal.com/catalogue/E40/ES>

<http://industry.arcelormittal.com/catalogue#>

<http://www.matweb.com/index.aspx>

- TEORÍA DE ESTRUCTURAS

<http://ocw.usal.es/enseñanzas-tecnicas/resistencia-de-materiales-ingeniero-tecnico-en-obras-publicas/contenidos/%20Tema5-Flexion-Tensiones.pdf>

file:///E:/Descargas/Clase_03.pdf